

Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Pedro Daniel Moreira da Silva

Aplicação de Técnicas BIM à
Construção Modular com Painéis Sandwich



Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Pedro Daniel Moreira da Silva

Aplicação de Técnicas BIM à Construção Modular com Painéis Sandwich

Tese de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efetuado sob a orientação do
Professor Doutor Miguel Ângelo Dias Azenha

Outubro de 2012

AGRADECIMENTOS

A escrita de uma dissertação é a tarefa que simboliza o culminar de um trabalho, da conclusão de um tema e a marcação do testemunho do nosso conhecimento adquirido durante todo o processo. Apesar de representar uma tarefa individual, não seria possível a sua realização sem a dedicação, o empenho e a determinação de todos os presentes que me apoiaram durante esta fase. Assim, gostaria de agradecer:

- Ao meu orientador, Professor Doutor Miguel Dias Azenha, pelo entusiasmo, dedicação e compromisso de trabalho, pela capacidade crítica e reconhecimento de trabalho;
- À professora Sandra Monteiro, pela disponibilidade e apoio demonstrado no esclarecimento de dúvidas sobre a análise térmica;
- Ao Eng.º António Ruivo Meireles, do Departamento de Inovação do Grupo Mota-Engil, pela disponibilidade e amabilidade na colaboração e partilha de conhecimentos sobre BIM e aplicações em casos reais;
- Ao Jim Thacker, coordenador de Licenças Educacionais, na empresa Vico Software, Inc., pela perseverança e disponibilidade demonstrada durante o processo para a obtenção de uma licença para a utilização da aplicação da Vico;

Também uma palavra de apreço a todos os meus colegas e amigos que fiz durante o percurso académico, que guardo com muita estima a amizade aqui criada e desenvolvida com quem espero, um dia no futuro ter a oportunidade de colaborar profissionalmente;

Finalmente à minha família e amigos mais chegados, um muito obrigado pela força e vontade, que me transmitiram e sem a qual, muitas vezes, sentir-me-ia perdido.

RESUMO

A construção modular é um processo construtivo que permite a conceção em ambiente controlado de módulos habitacionais que podem ser transportado para qualquer local e instalado em menor tempo, comparativamente aos processos tradicionais, introduzindo novas vantagens económicas e construtivas. A utilização de painéis sandwich em betão estrutural permite a conceção de módulos que combinam os benefícios integrados da utilização do isolamento para o conforto térmico com o suporte estrutural desempenhado pelas camadas de betão do painel.

BIM – Building Information Modeling é uma nova metodologia de projeto apoiado no desenvolvimento de modelos virtuais, que são integrados com as diversas informações e dados funcionais do edifício, que são transacionados entre aplicações BIM através de ficheiros IFC, estimulando a interoperabilidade entre os intervenientes da elaboração de projeto e construção.

Neste trabalho pretende-se aferir o nível de interoperabilidade entre aplicações preparadas para o conceito BIM, através da conceção de um caso de estudo que simula as interações entre as equipas de arquitetura e as equipas de especialidades hidráulica e térmica. O modelo de arquitetura foi concebido com o apoio da aplicação ArchiCAD através da modelação paramétrica em GDL dos painéis sandwich. A comunicação entre as aplicações BIM é realizada através da utilização do ficheiro IFC, usado para a transmissão dos dados do modelo para as aplicações Autodesk Revit MEP e Autodesk Ecotect Analysis. No entanto as importações e exportações de ficheiros IFC apresentaram problemas de interpretação de dados, que permitem afirmar que esta é ainda uma tecnologia que ainda se encontra em desenvolvimento, mas que já possui bons resultados.

Palavras-chave:

Prefabricação, Construção Modular, Painéis Sandwich, BIM, Interoperabilidade.

ABSTRACT

The modular construction is a process that allows the conception of modules in a controlled environment, which could be transported and installed in less time. The use of concrete structural sandwich panels allows the conception of modules that combines the benefits of using the integrated insulation for thermal comfort with the structural support of the concrete layers of sandwich panels

BIM - Building Information Modeling is a new methodology for construction that uses virtual models integrated with information and functional data of the building, information flows between BIM applications through the using of IFC files, increasing interoperability among the various stakeholders the project design and construction.

This paper aims to assess the level of interoperability between applications prepared for BIM concept, through the conception of a case study that simulates the interactions between architecture and teams of specialty hydraulic and thermal. The architectural model was created in ArchiCAD, which supports the implementation of parametric modeling through GDL for the sandwich panels. The communication between applications BIM is performed through the IFC file, used for transmitting data model for applications Revit MEP and Autodesk Ecotect Analysis. However, the import and export of IFC files occurred with problems of data interpretation that confirms that this is a technology under development, but with very good results.

Key Words

Prefabrication, Modular Construction, Sandwich Panels, BIM, Interoperability

Lista de Acrónimos

BIM – Building Information Modeling

IFC – Industry Foundation Classes

GDL – Geometric Description Language

CAD – Computer Aided Design

CNC – Controlo Numérico Computorizado

FRP – Fiber Reinforced Polymer

IAI – Industry Alliance for Interoperability

ISO – International Organization for Standardization

NBIMS – National Building Information Modeling Standard

PVC – Policloreto de Vinil

Índice

1.	INTRODUÇÃO.....	1
1.1	Industrialização da Construção.....	1
1.2	Objetivos.....	4
1.3	Estrutura do Trabalho Realizado.....	5
2.	ESTADO DA ARTE	6
2.1	Prefabricação e Construção Modular	6
2.1.1	Painéis Sandwich e ligações	9
2.1.2	Soluções Modulares	13
2.2	BIM – “Building Information Modeling”	18
2.2.1	Enquadramento	18
2.2.2	Definição de BIM.....	19
2.2.3	Interoperabilidade e IFC.....	21
2.2.4	BIM aplicado em Projeto e Construção	25
2.3	Aplicações Informáticas de BIM	27
2.3.1	Aplicação BIM de Arquitetura	29
2.3.2	Aplicações BIM de Especialidades	31
3.	CASO DE ESTUDO – DESENVOLVIMENTO DE EDIFÍCIO EM BIM	34
3.1	Soluções Estruturais e Projeto de Arquitetura	35
3.2	Parametrização dos Painéis Sandwich através de GDL	41
3.3	Parametrização dos Painéis Sandwich com Recurso a IFC.....	49
3.4	Desenvolvimento Macro Excel.....	50
3.5	Construção do modelo BIM de Arquitetura	53
4.	INTEROPERABILIDADE ENTRE APLICAÇÕES	56
4.1	ArchiCAD e Autodesk® Revit MEP	56

4.1.1	Traçado e Coordenação dos Sistemas Hidráulicos	60
4.2	ArchiCAD e as Aplicações de Análise Térmica.....	74
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	77
5.1	Conclusões e Síntese dos resultados	77
6.	Referências Bibliográficas	81

Índice de Figuras

Figura 1 - Edifícios emblemáticos da Civilização - Pártenon (à esquerda) e o Coliseu (à direita),[1], [2].....	1
Figura 2 - Aplicações da Prefabricação no setor da construção: a) vigas e pilares; b) painéis de fachada e c) habitações multifamiliares, [7].....	3
Figura 3 - Parque de Estacionamento construído com elementos prefabricados,[7]	6
Figura 4 - Repartição dos processos e tarefas na conceção de edifícios, adaptado de [9] 7	
Figura 5 - Constituição genérica de um painel sandwich, adaptado [13].....	10
Figura 6 - Classificação dos materiais da camada interna, adaptado de [14] e retirado de [13]	10
Figura 7 - Exemplos de conexões de painéis sandwich: (A) treliça de GFRP com varões; (B) Forma pultrudada de fibras de vidro; (C) Forma pultrudada de fibras de vidro em I; (D) Treliça de GFRP com armadura; (D) Varão de FRP, adaptado de [16]	11
Figura 8 - Exemplos de conetores metálicos aplicados em painéis sandwich em betão, adaptado de [17].....	11
Figura 9 – a) Ligação entre painéis com preenchimento da junta; b) Ligação por encaixe, adaptado de [13]	12
Figura 10 – Ligações através da adição de elementos: a) Chapas Lateais; b) Perfis Extrudido e secção em H, adaptado de [13]	12
Figura 11 – Soluções de fixação de painéis à fundação: por aparafusamento de placas (à esquerda) e por ancoragem (à direita), adaptado de [17]	12
Figura 12 – Pormenores de ligação entre painéis verticais e horizontais (à esquerda) e ligações de canto entre painéis verticais (à direita), adaptado de [17]	13
Figura 13 - Processos de Construção do Modulo Técnico [21].....	16
Figura 14 - Produto acabado da ModuLar House Solutions [22]	16

Figura 15 - BIM ao longo do ciclo de Vida do Edifício, adaptado de [25].....	19
Figura 16 – Modelos BIM: Visualização de Arquitetura (à esquerda) e Modelo interativo BIM (à direita), adaptado de [28].....	20
Figura 17 – BIM entre os principais intervenientes da indústria da construção, [29]	21
Figura 18 – Diagrama de relação de dados IFC de uma laje, adaptado de [34]	24
Figura 19 – Conceção de um modelo BIM 4D, adaptado de [35]	25
Figura 20 – Influência de custos ao longo das fases do edifício, adaptado de [25]	27
Figura 21 – Ciclo de vida do projeto de um edifício, adaptado de [37].....	28
Figura 22 - Edifício Kumuto (à direita), Econia Business Park (à esquerda),[39, 40] ...	30
Figura 23 – Exemplos de objetos paramétricos GDL, adaptado de [42]	30
Figura 24 - Exemplo de ferramentas disponíveis em Autodesk® Revit MEP, adaptado de [43]	31
Figura 25 - Modelos BIM usados para comparação entre aplicações, adaptado de [44]	32
Figura 26 - Resultado da importação do Ficheiro IFC para Ecotect, adaptado de [44] ..	32
Figura 27 - Resultados da importação IFC para RIUSKA, adaptado de [44]	32
Figura 28 – Modelação do elemento através da utilização de parâmetros relativos.....	34
Figura 29 - Alçado e Secção do Pannel Sandwich	35
Figura 30 - Pannel Comercial (à direita) e a distribuição dos conetores verticais (à esquerda).....	35
Figura 31 – Disposição dos módulos para a caso de estudo em análise	36
Figura 32 - a) Planta de Fundações do projeto de Arquitetura; b) Secções Tipo das Vigas	36
Figura 33 - Secções Tipo: Pannel de Cobertura (em cima) e Pannel de Piso (em baixo)	37
Figura 34 – Disposição dos painéis de Piso (à direita) e Disposição dos Painéis de Cobertura (à esquerda)	38
Figura 35 - Corte Longitudinal do Projeto	38
Figura 36 – Pormenor da secção tipo do Pannel de Piso.	40

Figura 37 – Pormenor da seção tipo do Pannel de Cobertura.....	40
Figura 38 – Apresentação do ambiente de programação GDL.....	41
Figura 39 - Listagem dos Parâmetros base e adicionais	42
Figura 40 – Exemplo operações entre comandos GDL.....	43
Figura 41 - Representação em 2D e 3D do pannel sandwich em GDL	44
Figura 42 - Estrutura do código GDL do pannel sandwich.....	45
Figura 43 - Pormenor do entalhe geométrico realizado nas camadas para a colocação dos conectores verticais (camadas apresentadas de forma separada do isolamento para facilitar a compreensão da imagem).....	46
Figura 44 - Introdução de dados geométricos e materiais do pannel a colocar, bem como o número e dimensões das aberturas.	46
Figura 45 - Planta do Modelo de Arquitetura.....	47
Figura 46 - Visualização do Modelo 3D	47
Figura 47 – Pannel gerado em GDL (à esquerda); Parede realizada com as ferramentas ArchiCAD (à direita).....	48
Figura 48 - Folha de Introdução de Dados para a Geometria do Pannel	51
Figura 49 – Campos de introdução de parâmetros IFC no pannel.....	52
Figura 50 - Pannel IFC importado em ArchiCAD, com posterior adição de janelas aos vãos definidos na macro IFC	53
Figura 51 - Pormenor de Ligação 3D entre: a) vigas de fundação; b) painéis de piso e c) Painéis Sandwich importados em IFC.....	54
Figura 52 - Modelo de Arquitetura pronto para exportação em IFC	55
Figura 53 - Fluxo de Trabalho entre ArchiCAD e Revit MEP	57
Figura 54 - Representação 3D das localizações dos equipamentos hidráulicos a transportar para Revit	57
Figura 55 – Alerta para incoerências na importação IFC em Revit	58
Figura 56 - Exemplo de equipamento da família Revit para edição	59
Figura 57 - Modelo IFC importado em Revit	59

Figura 58 - Configuração da nova planta Revit	60
Figura 59 - Esquematização dos subsistemas de abastecimento de água	61
Figura 60 - Exemplo de traçado do sistema: a) traçado automático proposto; b) correspondente resultado final.....	62
Figura 61 – Aviso sobre impossibilidade de execução da rota pretendida	62
Figura 62 - Traçado das redes de abastecimento de água quente e água fria	63
Figura 63 - a) Traçado do circuito de alimentação dos painéis; b) Traçado do abastecimento de água.....	64
Figura 64 - Traçado da recolha de águas residuais do quarto de banho	64
Figura 65 - Traçado da rede de águas residuais	65
Figura 66 - Detecção do atravessamento de elementos de fundação (à esquerda) e do elemento de piso (à direita)	66
Figura 67 – a) e b) Exemplos de painéis sandwich atravessados transversalmente por tubagem de abastecimento de água;.....	67
Figura 68 - Mensagem de erro sobre as propriedades e direção do fluxo.....	68
Figura 69 - Traçado automático adotado para o WC	69
Figura 70 - Traçado manual adotado para o WC.....	70
Figura 71 - Representação em Planta das Redes de Abastecimento de água e Residuais	72
Figura 72 - Modelo MEP exportado, Solibri Model View.....	73
Figura 73 - Modelo ArchiCAD com a rede hidráulica	73
Figura 74 - Quadro de Identificação de Elementos IFC detetado pela aplicação Ecotect, Adaptado de Ecotect 2011.....	75
Figura 75 - Modelo IFC importado, Ecotect 2011.....	75
Figura 76 - Modelo IFC (à esquerda) e Modelo Ecotect resultante da importação (à direita)	76

Índice de Quadros

Quadro 1 - Apresentação das Soluções Estruturais Modulares	14
Quadro 2 - Apresentação das Soluções Estruturais Modulares (Continuação)	15
Quadro 3 - Principais aplicações de BIM, agrupadas por áreas de funcionalidade, adaptado de [32]	29
Quadro 4 - Quadro comparativo de aplicações para análise térmica	33
Quadro 5 - Apresentação de pormenores de ligação	39
Quadro 6 - Exemplos de comandos GDL, adaptado [46]	43
Quadro 7 - Exemplos de comandos GDL (Continuação)	44
Quadro 8 – Componentes Painei Sandwich	45
Quadro 9 - Quadro comparativo de dimensionamento automático e Manual para a rede de Agua Quente no WC	71

1. INTRODUÇÃO

1.1 Industrialização da Construção

As necessidades de matérias-primas e de recursos humanos em projetos de construção não são apenas exclusivas da construção atual, as diferentes civilizações antigas, experienciaram as mesmas necessidades, com diferentes projetos, muitos que com o passar do tempo, se tornaram símbolos emblemáticos, tais como o Pártenon em Atenas e o Coliseu de Roma (Figura 1.1).



Figura 1 - Edifícios emblemáticos da Civilização - Pártenon (à esquerda) e o Coliseu (à direita),[1], [2]

Estes dois exemplos, refletem a grandiosidade de alguns dos empreendimentos realizados nos séculos V a.C. e I, onde a complexidade exigida para a sua edificação, acarretavam a necessidade de novos processos e técnicas e métodos. Exemplo disso foi a construção de colunas do Pártenon com base num determinado conjunto de blocos já trabalhados num local externo, sendo por sua vez assemblados *in-situ*. Estes avanços podem ser interpretados como as primeiras formas de industrializar os processos construtivos, através dos primeiros processos de prefabricação.

Com a revolução industrial, através do desenvolvimento de ferramentas e maquinaria, houve um aumento no volume de produção de bens, que possibilitou a passagem de uma economia baseada no trabalho manual individual com uma produtividade reduzida, para uma economia de escala. Já no séc. XX, Henry Ford introduziu o conceito de linha de montagem [3] que permitiu reduzir o tempo de produção do “Modelo T” de 12.5 horas por chassis para 93 minutos aquando da conclusão do processo [4]. No que respeita aos progressos na industrialização do setor da construção, estes encontram-se diretamente ligados a processos de mecanização e racionalização[5].

A mecanização é um processo indispensável para a industrialização, que permite conceber e desenvolver os diferentes equipamentos necessários, às diversas atividades pretendidas numa determinada indústria. No âmbito da construção, a conceção de diversos equipamentos elevatórios, contribuiu para o desenvolvimento da construção em altura e de estruturas complexas, como barragens ou estádios. A introdução de equipamentos mecânicos, nas diferentes tarefas e etapas construtivas, permite contribuir para a racionalização dos recursos. A racionalização pode ser descrita como um conjunto de processos aplicados às diferentes tarefas, para o melhoramento da qualidade, eficiência e produtividade reduzindo os custos e tempos de execução [5]. A racionalização nas diferentes etapas de construção, permite desenvolver uma metodologia de otimização de processos, refinando cada etapa produtiva, e pensando antecipadamente em diferentes formas para a combinação de interações entre a utilização de equipamentos mecânicos e a mão-de-obra tradicional, atualizando os diversos processos construtivos tradicionais [5].

Apos a revolução industrial apesar da introdução de diversos equipamentos mecânicos e utilização de processos construtivos refinados, que contribuíram para a melhoria da produtividade e qualidade do sector da construção, ocorreu mais um passo importante para a industrialização com o advento das tecnologias de informação.

No entanto, apesar dos avanços alcançados, as empresas do setor da construção, tendencialmente atrasam a sua implementação, uma vez que mantem uma visão de conceção de produtos únicos, onde cada projeto de construção desenvolvido contem métodos de construção específicos e adaptados, sendo o oposto às empresas de

manufatura que rapidamente adotam novas técnicas e métodos capazes de permitirem a múltipla conceção de produtos com uma eficiência crescente [6].

O conceito de produção em massa de múltiplos produtos, aplicado ao setor da construção permitiu a atualização dos processos de prefabricação através da introdução de novos processos tecnológicos de execução e montagem, sendo que atualmente já são prefabricados diversos elementos estruturais em betão: vigas, pilares e lajes, também painéis de fachada e estruturais (Figura 1.3). Inclusivamente, é de referir a existência de habitações unifamiliares e multifamiliares construídas com recurso a painéis estruturais prefabricados.

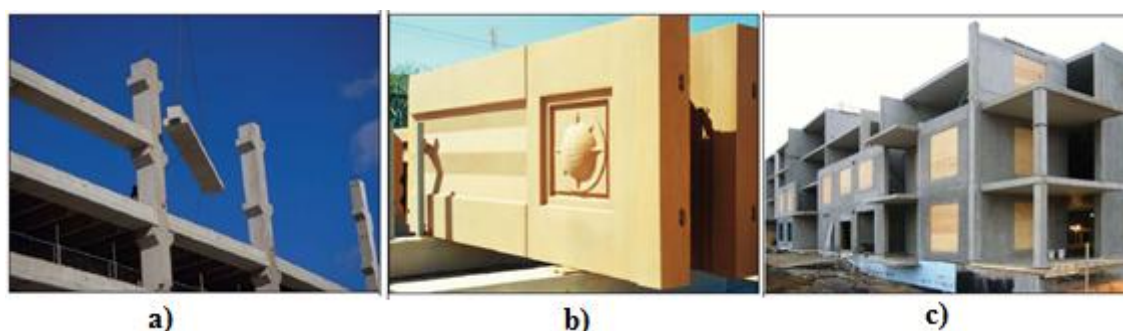


Figura 2 - Aplicações da Prefabricação no setor da construção: a) vigas e pilares; b) painéis de fachada e c) habitações multifamiliares, [7]

A integração das tecnologias de informação impulsionou o desenvolvimento de aplicações informáticas de auxílio à elaboração de projetos como as aplicações de CAD – “Computer Aided Design”, que no setor da construção possibilitaram a informatização das diferentes etapas de conceção de projeto, melhoria do controlo dimensional e qualidade de projeto em ambiente 2D, desenvolvimento de visualizações 3D e ainda a capacidade de transferência de dados geométricos para ficheiros usados em equipamentos de CNC – Controlo Numérico de Computorizado, permitindo a realização de tarefas de corte automático na indústria de produção. No entanto, atualmente as aplicações de CAD foram suplantadas pelas novas aplicações BIM – “Building Information Modeling”.

As aplicações de BIM são a resposta a um novo conceito e metodologia adotado na indústria da construção, a metodologia BIM. Que pode sucintamente ser definido como um conceito de modelação e construção virtual do edifício utilizando o conceito de modelação paramétrica, combinando a modelação virtual 3D com a adição de dados não geométricos ao modelo, como por exemplo, informações necessárias para o faseamento construtivo, sendo que um dos pontos principais na sua utilização é a adoção do conceito de Interoperabilidade, defendendo uma nova abordagem cooperativa entre as diferentes entidades envolvidas na conceção, construção e gestão de projetos. O desenvolvimento das aplicações BIM implicou a construção de um novo tipo de ficheiro com uma arquitetura adaptável às necessidades das novas aplicações para a transmissão de dados, o ficheiro IFC – “Industry Foundation Class”.

No atual momento em que a indústria da construção civil, na sua componente tradicional atravessa um período de recessão em Portugal, é importante a aposta na inovação, modernização e desenvolvimento de novos métodos e produtos construtivos com base na utilização da prefabricação, nomeadamente a conceção de habitações prefabricadas, possibilitando a sua exportação para diferentes países e localizações.

1.2 Objetivos

Durante a presente dissertação, pretende-se o desenvolvimento de um caso de estudo que permita replicar as condições de interação entre as equipas de conceção de projetos de arquitetura e as equipas de projetos de especialidades, no âmbito da utilização de aplicações BIM.

O modelo de arquitetura utilizando no caso de estudo, possui características modulares e utiliza como elemento base de construção os painéis sandwich, sendo desenvolvido com a aplicação BIM ArchiCAD, que permite a conceção dos painéis e restantes elementos paramétricos através das ferramentas do programa e da linguagem de programação em GDL, sendo convertido para o formato de ficheiro dados nativo de BIM, o ficheiro IFC.

A utilização de ficheiros IFC, permitem a transmissão de dados entre as diversas aplicações BIM existentes, neste caso o modelo de arquitetura será usado pelas aplicações BIM Autodesk Revit MEP para a conceção do projeto hidráulica e pela Autodesk Ecotect Analysis para o cálculo térmico do modelo.

Dado que as aplicações dedicadas a BIM são ainda recentes no mercado, pretende-se averiguar o grau de interoperabilidade entre as aplicações, identificando quais os pontos de conflito existentes atualmente.

1.3 Estrutura do Trabalho Realizado

No Capítulo 1 é realizado o enquadramento teórico da tese, são apresentados os objetivos e a organização do trabalho desenvolvido.

No Capítulo 2 é realizado o Estado de Arte sobre os seguintes temas: a prefabricação e construção modular e BIM – Building Information Modeling.

No Capítulo 3 é iniciado o desenvolvimento de um caso de estudo sobre a aplicação de BIM, com a conceção do modelo de arquitetura através da aplicação ArchiCAD. Explorando a linguagem de programação de GDL – Geometric Description Language e a geração automática de ficheiros de formato IFC para a conceção dos painéis sandwich.

No Capítulo 4 é analisada a análise do relacionamento e integração dos projetos das especialidades de Hidráulica e Térmica, com o modelo BIM de arquitetura desenvolvido anteriormente, utilizando o ficheiro IFC como veículo de transmissão de informação.

Finalmente, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões do trabalho desenvolvido, as perspetivas e sugestões para a continuação dos estudos realizados durante a presente dissertação.

2. ESTADO DA ARTE

2.1 Prefabricação e Construção Modular

Na atualidade, os processos construtivos utilizados ao longo da conceção dos elementos de construção, já contemplam a prefabricação de componentes ou subelementos, aceleram os tempos de execução das tarefas. No contexto da presente dissertação é importante definir prefabricação aplicada à construção, como o conjunto de procedimentos e tarefas que permitem o fabrico de componentes básicos ou parciais, fora do local principal de construção, com um número definido de unidades, para posterior integração na construção. Sendo um exemplo a prefabricação de lajes alveolares, vigas e pilares para a construção de parques de estacionamento (Figura 2.1). Do ponto de vista industrial a prefabricação está associada ao conceito de estandardização, que designa um processo de produção que permite a produção em massa de objetos ou componentes de uma forma otimizada e com a redução efetiva de desperdícios associados à produção.



Figura 3 - Parque de Estacionamento construído com elementos prefabricados,[7]

Internacionalmente é reconhecido que a industrialização do setor da construção, tem um potencial relevante e que os seus processos devem ser atualizados e adaptados aos novos conceitos e evoluções tecnológicas. Por exemplo, na Noruega, onde as tarefas de construção tradicional são constantemente afetadas pelas temperaturas baixas, as habitações são construídas em madeira, com a construção de componentes habitacionais em ambientes controlados (protegidos do exterior) [8]. O recurso a este tipo de técnica trás vantagens relevantes relativamente à construção in-situ. No entanto, em Portugal, a indústria da construção apresentou características de uma atividade artesanal, que não assimilava os progressos técnicos e tecnológicos que potenciavam o aumento da competitividade e produtividade [4] sendo reconhecida a necessidade de implementação de novos processos.

A utilização de tarefas de prefabricação em estaleiro e em obra, conduzem à redução de custos e tempos de execução, havendo em simultâneo e num horizonte temporal a medio prazo, a transferência de tarefas realizadas em obra ou estaleiro para fabricas ou localizações específicas de produção, representado na Figura 2.2 que refletem um novo principio adotado pela indústria da construção com a racionalização de bens materiais e mão-de-obra, com a utilização de metodologias de trabalho especificas, onde não prevalece o saber empírico mas sim o planeamento e organização [9].

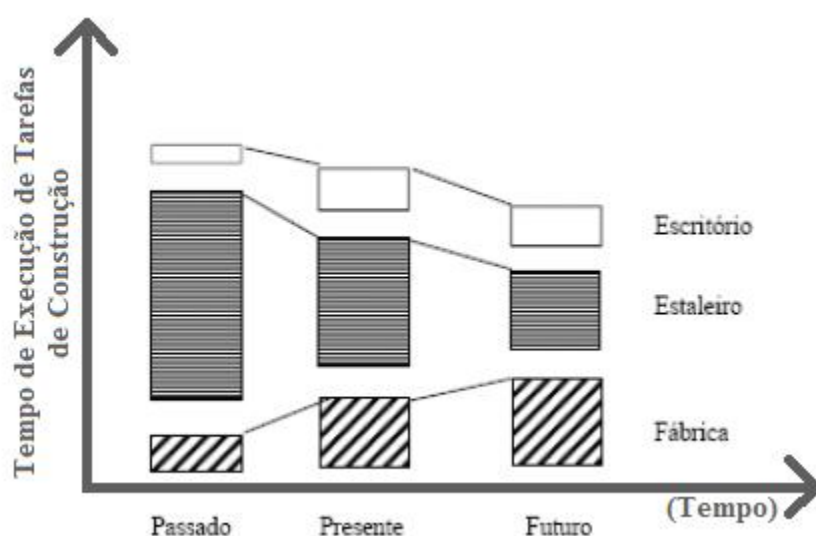


Figura 4 - Repartição dos processos e tarefas na conceção de edifícios, adaptado de [9]

A qualidade e a rapidez de execução, de estruturas prefabricadas, são algumas das vantagens que potenciaram o seu crescimento, por exemplo nos Estados Unidos, destacando-se ainda outras valências e vantagens[10, 11]:

- O controlo na produção de elementos pré fabricados permite que sejam racionalizados e controladas as quantidades de matérias-primas usadas (betão e armaduras) bem como a gestão dos moldes e tempo de execução, tornando o fabrico mais eficiente;
- O betão utilizado possui elevada resistência nos primeiros dias de cura, permitindo assegurar peças de boa qualidade e a realização do transporte em poucos dias, a durabilidade das peças é também superior por ser garantido o controlo da profundidade de armaduras e compactação homogénea;
- O desempenho térmico e acústico pode ser beneficiado pela densidade das peças, pelo seu correto posicionamento no local e dos seus elementos incorporados (por exemplo se forem painéis sandwich de betão e isolamento), bem como a boa execução das ligações e juntas entre os vários elementos;
- O controlo dimensional é garantido pelo uso de moldes ou cofragens metálicas, periodicamente inspecionadas e controladas para garantirem que o fabrico das peças obedece às medidas específicas e tolerâncias definidas pelos projetos e permitem um controlo de tratamento de superfície exemplar com acabamentos de excelência;
- A capacidade de evolução e flexibilidade das construções prefabricadas permitem uma adaptação às diferentes situações e solicitações do mercado, bem como os métodos construtivos usados, havendo uma redução de mão-de-obra empregue e de elementos auxiliares (tais como andaimes e escoramentos) comparativamente com o método tradicional;

A utilização da prefabricação de elementos construtivos, nomeadamente a prefabricação de elementos em betão armado, não apresentam apenas vantagens positivas, existem ainda um conjunto de desafios a serem ponderados aquando da sua aplicação [9]:

- A necessidade de recorrer a elementos de ligação adicionais para a fixação dos elementos prefabricados, tais como parafusos, cantoneiras, bem como necessidade

de um maior controlo de rigor na elaboração do projeto e pormenorização dos elementos, do processo de execução das zonas de pormenores e armaduras;

- A necessidade de garantir o controlo rigoroso das ligações, uma vez que representam os pontos frágeis da estrutura associados ao surgimento de patologias;
- A necessidade de recorrer a mão-de-obra quase exclusivamente especializada para a construção dos elementos e montagem em obra.

Para além do conceito de prefabricação aplicada à construção, já introduzido no contexto da presente dissertação, é importante também definir o conceito de Modular e Construção Modular, assim [12]:

- Modular: método de construção que utiliza secções tridimensionais prefabricadas, em ambiente fabril, que posteriormente são transportadas para o local de construção para a montagem final.
- Construção Modular: são conjuntos de processos construtivos usados que permitem a conceção de módulos habitacionais prefabricados destinados a múltiplas funções.

Com a transição do uso de processos construtivos tradicionais, para a produção de componentes e módulos, existem um conjunto de conceitos relacionados com a organização e posicionamento dos departamentos produtivos em ambiente industrial, que devem ser adaptados aos produtos prefabricados para o setor da construção.

2.1.1 Painéis Sandwich e ligações

O painel sandwich é uma estrutura compósita, composta por duas camadas exteriores e uma camada interior (Figura 2.3), sendo camadas externas compostas por materiais de elevada densidade e resistência, em contraste com camada interna, usualmente composta por um material de menor resistência e densidade, contribuindo para a redução do peso total do painel [13]. Atualmente os materiais usados para o fabrico de painéis sandwich são de natureza variável, sendo muitas vezes selecionados de acordo desempenho

pretendido pelo painel, dada esta variabilidade de materiais, a camada interna pode ser classificada de acordo com a homogeneidade e organização do material usado, descrito na Figura 2.4.

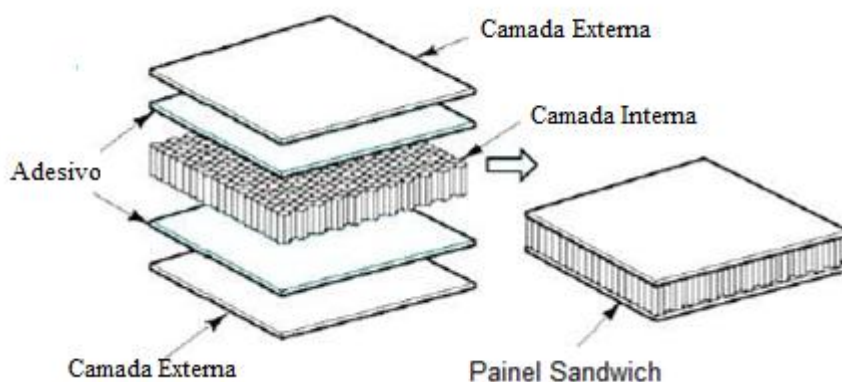


Figura 5 - Constituição genérica de um painel sandwich, adaptado [13]

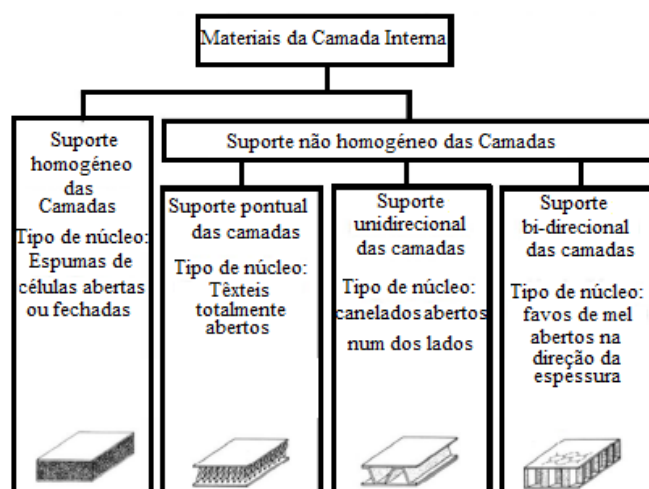


Figura 6 - Classificação dos materiais da camada interna, adaptado de [14] e retirado de [13]

Na utilização de betão na conceção de painéis sandwich, a colagem das camadas, pode não ser suficiente para garantir a estabilidade estrutural do painel, pelo que existem conetores de FRP – “Fiber Reinforced Polymer” apresentados na Figura 2.5 e conetores de aço, de varias configurações (Figura 2.6), que garantem uma conexão física entre as duas camadas externas, independentemente do material usado internamente [14, 15].

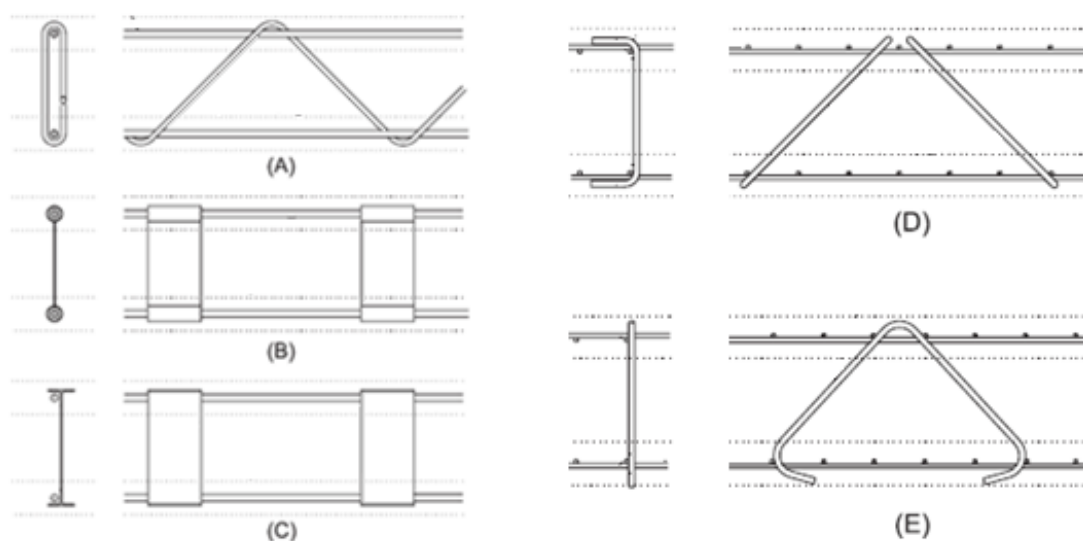


Figura 7 - Exemplos de conexões de painéis sandwich: (A) treliça de GFRP com varões; (B) Forma pultrudada de fibras de vidro; (C) Forma pultrudada de fibras de vidro em I; (D) Treliça de GFRP com armadura; (E) Varão de FRP, adaptado de [16]

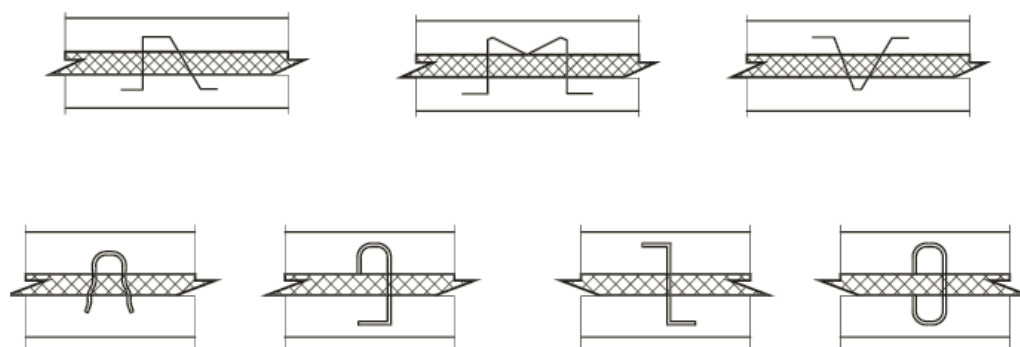


Figura 8 - Exemplos de conetores metálicos aplicados em painéis sandwich em betão, adaptado de [17]

Para além das ligações entre as camadas do painel sandwich, é necessária a conexão entre painéis, que podem ser realizadas através de colagem ou preenchimento de juntas (Figura 2.7), com recurso à adição de elementos perfilados (Figura 2.8), ou ainda com mecanismos de aperto entre placas e parafusos, usados em ligações verticais de canto, fundações e pavimentos, representados nas Figuras 2.9 e 2.10.

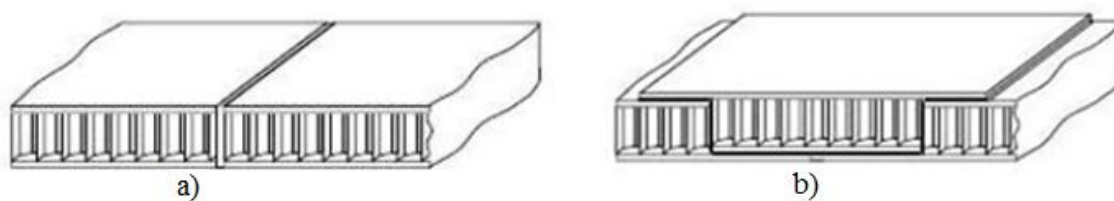


Figura 9 – a) Ligação entre painéis com preenchimento da junta; b) Ligação por encaixe, adaptado de [13]

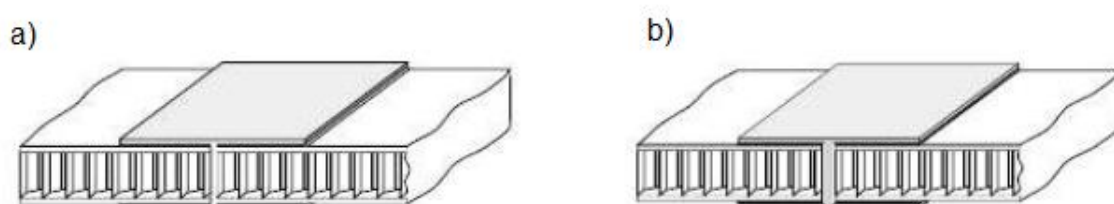


Figura 10 – Ligações através da adição de elementos: a) Chapas Lateais; b) Perfis Extrudido e secção em H, adaptado de [13]

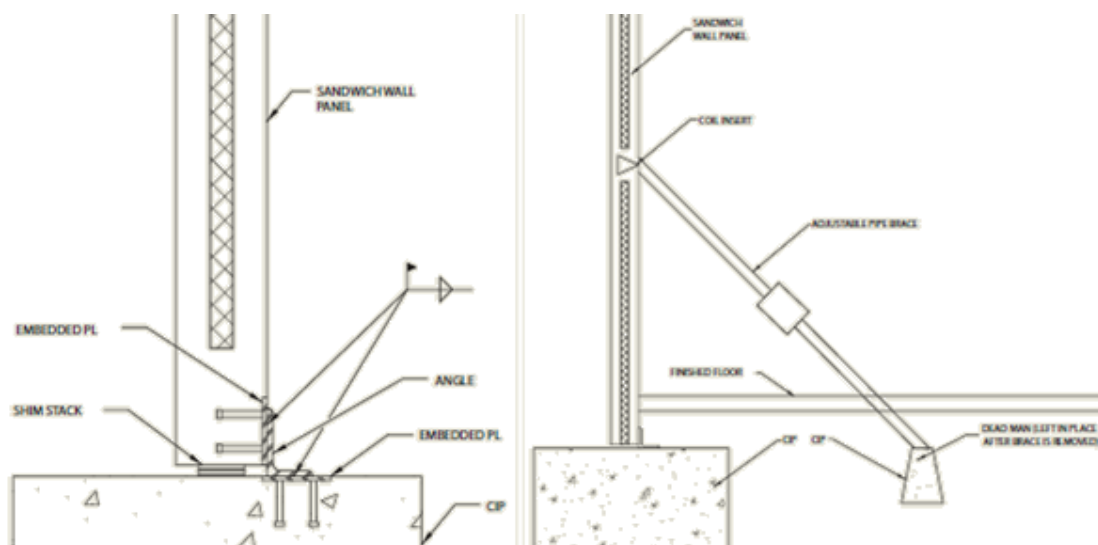


Figura 11 – Soluções de fixação de painéis à fundação: por aparafusamento de placas (à esquerda) e por ancoragem (à direita), adaptado de [17]

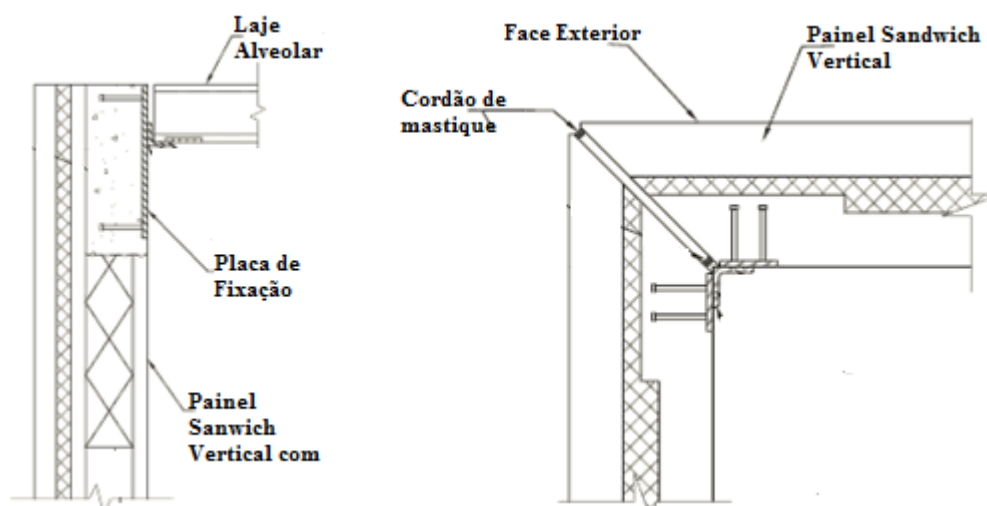


Figura 12 – Pormenores de ligação entre painéis verticais e horizontais (à esquerda) e ligações de canto entre painéis verticais (à direita), adaptado de [17]

2.1.2 Soluções Modulares

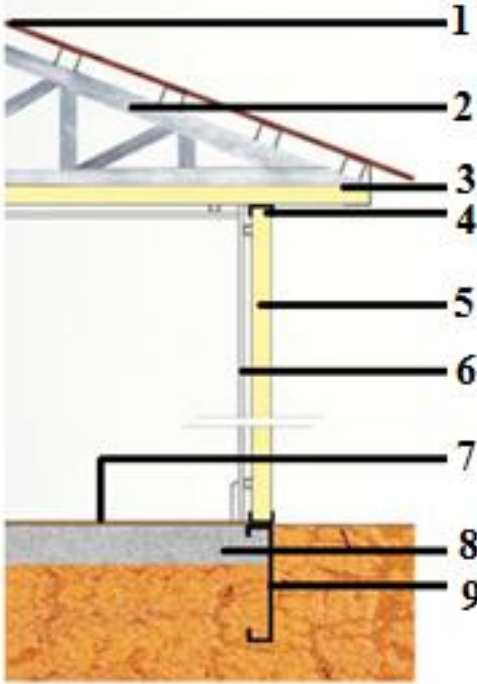
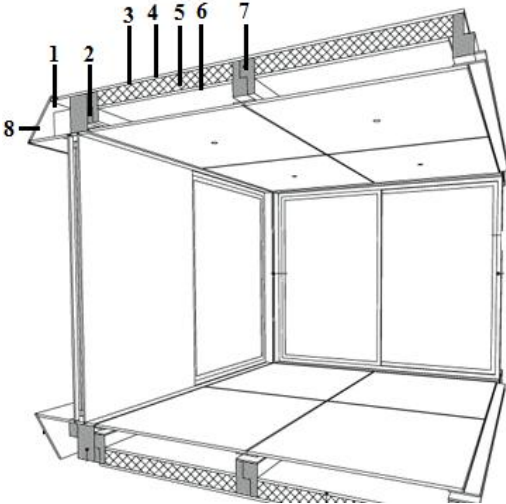
Sendo um nicho de mercado recente na construção em Portugal, atualmente já existem empresas nacionais que comercializam ou projetam soluções modulares para o mercado imobiliário. A análise de algumas das diferentes soluções modulares existentes permitem a fundamentação de uma análise comparativa entre estes sistemas e o sistema idealizado para o caso de estudo. Assim temos em análise, seis soluções modulares: Criatus, SIT, Mood: casas modulares, Modulo Técnico, ModuLar House Solutions e MIMA [15, 18-20].

Apesar do número de soluções, nem todas as empresas disponibilizam as informações relativas à pormenorização do sistema estrutural dos módulos comercializados, pelo que em comparação direta, apenas podem ser comparadas diretamente quatro soluções, apresentadas no Quadro 1 e 2.

Quadro 1 - Apresentação das Soluções Estruturais Modulares

	Descrição Sistema construtivo	Representação Gráfica
Criatus	<p>1 – Perfil Metálico</p> <p>2 – Paineis Sandwich</p> <p>3 – Platibanda</p> <p>4 – Capoto</p> <p>5 – Placa OSB</p> <p>6 – Lã de Rocha</p> <p>7 – Fundação</p>	
SIT modular solutions	<p>1 – Membrana Elástica</p> <p>2 – Betão Reforçado com fibra de vidro</p> <p>3 – Camada de Poliuretano Expandido</p> <p>4 – Estrutura Metálica</p> <p>5 – Paineis Gesso Cartonado</p> <p>6 – Revestimento</p> <p>7 – Estrutura Madeira ou Metálica</p> <p>8 – Base de Betão</p>	

Quadro 2 - Apresentação das Soluções Estruturais Modulares (Continuação)

<p>Mood: casas modulares</p>	<p>1 – Chapa de cobertura 2 – Estrutura da Cobertura 3 – Remates 4 – Perfil em U 5 – Paineis Sandwich 50mm 6 – Placa de Gesso Cartonado 7 – Pavimento Flutuante 8 – Base de Betão 9 – Perfil em C</p>	
<p>MIMA Housing</p>	<p>1 – Tubo de Queda 2 – Viga de Suporte em madeira 3 – Impermeabilizante 4 – Aglomerado Hidrófugo 5 – Manta de polietileno 6 – OSB Interior 7 – Estrado Interior em Madeira 8 – Contra Placado</p>	

As soluções propostas pela Modulo Técnico, tem um processo de construção semelhante ao apresentado pela Mood, neste caso, com uma estrutura em aço galvanizado dobrado (Figura 2.11), para a fixação dos painéis sandwich, não apresenta no entanto a informação de como é que esse processo é realizado (aparafusamento ou colagem), sendo que ainda na face interior é contabilizada mais uma camada de lã de rocha e finalizado com recurso a painéis de contraplacado, já a ModuLar House Solutions apresenta um sistema construtivo composto na totalidade por uma estrutura em aço zincado com revestimento a painéis de alumínio ou zinco, sendo que na ausência de qualquer imagem ilustrativa do processo de construção, é apenas possível a apresentação de um modulo finalizado (Figura 2.12)



Figura 13 - Processos de Construção do Modulo Técnico [21]



Figura 14 - Produto acabado da ModuLar House Solutions [22]

Pode-se fazer uma análise comparativa entre os sistemas apresentados nos Quadros 1 e 2, segundo as seguintes propriedades:

- Estrutura Principal: predominância da utilização de estrutura metálica, em detrimento da utilização de estrutura em madeira (sendo apenas usada pela MIMA);
- Estrutura Exterior: as paredes exteriores são executadas em painéis sandwich comerciais (Mood), painéis de betão reforçado com fibras (SIT) e placas de poliestireno extrudido, complementado com materiais de isolamento térmico, no entanto, não possuem uma função estrutural.
- Variabilidade: apesar da diferenciação das soluções de arquitetura, as soluções apresentadas para estrutura modular são semelhantes.

A necessidade de execução de uma estrutura base, para a montagem dos diferentes componentes modulares, podia ser suprimida com a utilização de um sistema de painéis ou paredes portantes, que poderiam desempenhar a função estrutural modular cumulativamente com a função de limitação do espaço exterior e interior. Este passo, simplificaria o processo construtivo do sistema modular.

2.2 BIM – “Building Information Modeling”

2.2.1 Enquadramento

As aplicações de CAD revolucionaram a forma de representar e projetar os edifícios, potenciaram o desuso dos tradicionais e demorados projetos elaborados em papel, contribuindo para a utilização de computadores e ambientes de trabalho virtuais. Este processo reduziu significativamente o tempo da elaboração dos desenhos e pormenores dos projetos em 2D. As suas vantagens iniciais superaram as expectativas em pouco tempo o processo de desenho migrou para o ambiente 3D, com estes avanços nas ferramentas de modelação e cálculo numérico, rapidamente os projetos foram aumentando a sua complexidade e exigência entre as várias especialidades da construção.

Com desenvolvimento de novas ferramentas, metodologias e aplicações no mercado, existe a necessidade de descobrir como melhorar e adaptar as relações de trabalho entre as várias especialidades de projeto e entidades envolvidas nas diversas fases de construção. Por outras palavras, o desenvolvimento do conceito de projetos integrados, que permitam a elaboração de modelos virtuais onde são aglomeradas as informações e os projetos das especialidades, que permitam a sua partilha entre os vários intervenientes de projeto e equipas de construção [23].

No auge da utilização das ferramentas de CAD, os desenhos digitais eram guardados em ficheiros de formato correspondente às ferramentas de desenho, onde apenas eram compiladas as informações mais básicas do modelo. O BIM – “Building Information Modeling” é uma nova abordagem que tenta dar resposta à esta necessidade de criar e manter uma cooperação entre as várias áreas da engenharia que são necessárias para o desenvolvimento de projetos de construção.

2.2.2 Definição de BIM

BIM – “Building Information Modeling” pode ser definido como uma representação digital das características físicas e funcionais de um edifício, transformando-o num recurso para receção e partilha de informações, desenvolvendo uma base de informação confiável para as decisões a tomar durante o ciclo de vida, com a definição de todos os parâmetros necessários desde a sua fase de conceção até à fase de demolição [24].

A utilização de BIM é centralizada nas atividades internas de construção que incluem as fases de planeamento, projeto e construção de um determinado edifício, possibilitando a compilação de um arquivo virtual completo, a entregar ao proprietário, no entanto, em cada uma das atividades a introdução e utilização de BIM pode desempenhar um papel principal ou secundário nas diversas atividades laborais, como demonstrado pela gradação de cor nas tarefas apresentadas na Figura 2.13, com uma cor mais escura são apresentadas as tarefas para as quais a aplicação de BIM apresentam um maior resultado.

PLANEAMENTO	PROJETO	CONSTRUÇÃO	OPERAÇÃO
Condições existentes para a modelação			
abordagem para a estimação de custos			
Faseamento Construtivo			
Análise do local			
Programação			
	Elaboração e revisão do projeto		
	Validação dos códigos construtivos		
	Avaliação segundo o LEED		
	Análise Estrutural		
	Análise Mecânica		
	Análise Elétrica		
	Outras Análises de especialidades		
	Análise Energética		
	Autorização do projeto		
	Coordenação 3D		
		Controlo e planeamento 3D	
		Construção Digital	
		Elaboração dos sistemas construtivos	
		Planeamento e gestão do local	
		Gravação do modelo digital	
			Planeamento de Segurança
			Distribuição Espacial
			Monitorização de assentamentos
			Análise dos sistemas do edifício
			Calendarização da manutenção

Figura 15 - BIM ao longo do ciclo de Vida do Edifício, adaptado de [25]

Pode ainda ser considerado como um dos maiores e promissores desenvolvimentos para todo o setor da construção, quando bem implementado em toda extensão do projeto [24]. Esta metodologia representa um veículo facilitador para o desenvolvimento numa conceção integrada que permite projetos de melhor qualidade, associado ao maior controlo de custos [26]. A elaboração do modelo virtual do edifício, antes da sua construção propriamente dita, permite a resolução de problemas de conceção estrutural ou de arquitetura, para além da simulação e análise de diferentes processos construtivos. A base principal dentro da tecnologia BIM é modelo informático do edifício [27].

A criação de um modelo informático do edifício começa da mesma forma que o método tradicional, com a conceção do modelo de arquitetura (Figura 2.13), que será usado como referência para os passos seguintes na conceção. O recurso a BIM será o motor de interação entre as várias especialidades integrantes do edifício (redes de água, gás, eletricidade, AVAC), cujos projetos serão integrados no modelo base.

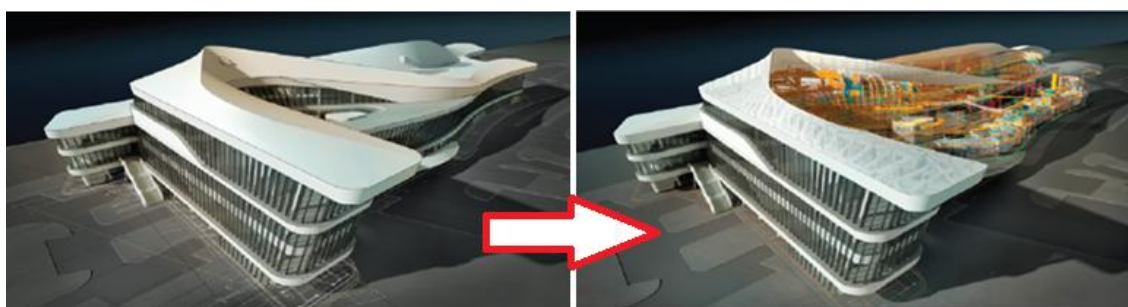


Figura 16 – Modelos BIM: Visualização de Arquitetura (à esquerda) e Modelo interativo BIM (à direita), adaptado de [28]

O desenvolvimento de um processo de gestão integrada entre as diferentes especialidades que compõem a conceção de um edifício, é um dos principais objetivos da aplicação de BIM, desenvolvendo-se novas fronteiras para a interação e relacionamento entre projetistas, donos de obra, construtores e entidades licenciadoras, sendo que as vantagens da integração dos processos de BIM servem os interesses de todos os intervenientes como demonstrado na Figura 2.14.

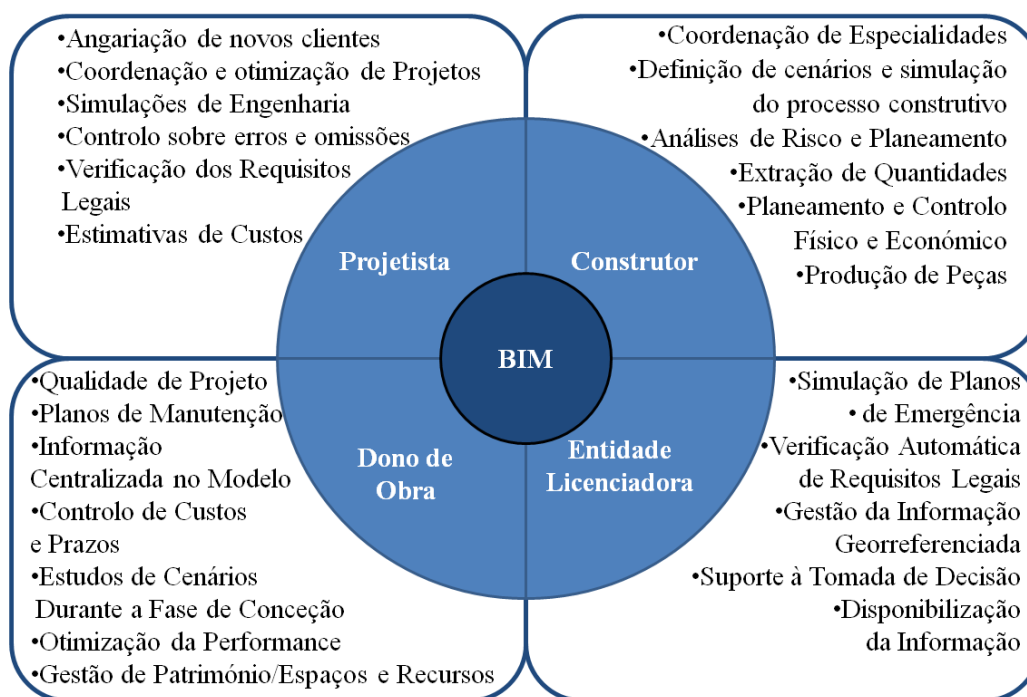


Figura 17 – BIM entre os principais intervenientes da indústria da construção, [29]

2.2.3 Interoperabilidade e IFC

O desenvolvimento dos vários projetos de um edifício pode ser realizado de duas formas muito distintas. Sendo a primeira o desenvolvimento de projetos sequenciais, em que os projetistas das várias especialidades só começam a desenvolver o seu trabalho quando o projeto anterior já se encontra na fase final. Em alternativa, pode-se idealizar um desenvolvimento simultâneo e integrado dos vários projetos das especialidades, permitindo que cada um dos projetos seja desenvolvido com recurso à partilha de dados e informações necessárias os vários intervenientes. Nesse sentido, a cooperação interdisciplinar é um requisito muito importante na implementação do BIM.

No contexto das ferramentas BIM a interoperabilidade, pode ser definida como a habilidade de transpor dados entre aplicações para que em conjunto possam contribuir para o projeto em desenvolvimento [30], no entanto, como cada aplicação possuía o seu próprio modelo de armazenamento de dados, as tarefas de importação/exportação

necessitavam de uma interação manual sendo que de cada vez que surgissem mudanças ou revisões, todo o processo teria de ser refeito. Para grandes projetos, com centenas de desenhos, este seria um método de trabalho impraticável, e considerando que cada equipa de projeto pode utilizar uma diferente aplicação, o nível de interoperabilidade seria insustentável. A utilização de BIM permite a compatibilização e centralização dos diferentes dados que compõem a construção de um edifício, sendo exportados e importados pelas diferentes aplicações utilizando um único ficheiro, o IFC [31].

A historia do desenvolvimento dos ficheiros IFC é iniciada através da constituição de um consorcio – a Industry Alliance for Interoperability (IAI) em 1994, liderado pela Autodesk®, que pretendia o desenvolvimento de aplicações utilizando a linguagem C++ com capacidade para suportar o desenvolvimento de futuras aplicações integradas. Já em 1997, redefiniram o nome da instituição para International Alliance for Interoperability, registando-o como uma organização internacional sem fins lucrativos, com o objetivo de desenvolver, publicar e certificar “Industry Foundation Class” – IFC como um produto de utilização transversal utilizado pelas indústrias de arquitetura, engenharia e construção. Entretanto a designação da IAI foi alterada em 2005 para buildingSMART [30]. O formato IFC está registado pela ISO (International Organization for Standardization) como ISO /PAS 16739 e em processo de se tornar a Norma Internacional ISO/IS 16739 [32].

Atualmente já existem especificações para a implementação de BIM, com a principal referência às normas desenvolvidas conjuntamente pela NIBS – National Institute of Building Science e pela U.S. buildingSMART, denominado de NBIMS – U.S. National Building Information Modeling Standard, tendo publicado a Norma ISO 29481-1:2010 – Building Information Modeling – Information Delivery Manual, Parte 1: Metodologia e Formato.

IFC pode ser definido como uma plataforma desenvolvida para operações de conversão de dados entre as diferentes aplicações usadas na indústria da construção que muitas vezes comporta um volume elevado de informações referentes ao modelo virtual do edifício [30]. IFC consiste então numa biblioteca de objetos e propriedades definidas que

podem ser usadas para representar um edifício, permitindo a sua transmissão e consulta para diferentes propósitos, sendo desenvolvido como um modelo de base extensível. Isto é, pretende-se que o IFC comporte definições gerais e dados do modelo, a partir do qual, podiam ser obtidos modelos mais específicos e detalhados que permitissem alterações particulares. A primeira versão IFC publicada, IFC 1.0 data de 1997, posteriormente atualizada para a versão IFC2x em Outubro de 2000 e complementada por posteriores adições, IFC2x-Add1, IFC 2x2 em 2003 e IFC2x2-Add1 em 2004, atualmente a versão em vigor, é o IFC2x3, estando previsto o lançamento da versão IFC4 (IFC2x4) para certificação ISO em 2012 [33].

O modelo IFC representa não só componentes de edifícios, tais como paredes, vigas, lajes e demais elementos, mas também permite a introdução de conceitos mais abstratos, (sem modelação geométrica), como calendarizações, atividades, espaços, custos, através da utilização de entidades ou classes. Todas as entidades, podem ter um conjunto de propriedades tais como: nome, geometria, materiais, acabamentos, sendo que a versão atual utiliza cerca de 600 entidades, organizadas com base num conceito de hierarquia [32].

As diversas entidades IFC podem ser agrupadas e classificadas de acordo com os conceitos e definições a seguir enunciados [32], salientando desde já que todas as entidades IFC, exceto as entidades de recurso, são do subtipo de entidades *IfcRoot*, possuindo um identificador único universal (GUID – Global Unique Identifier), esta entidade fornece serviços básicos para o modelo:

- Identidade do objeto;
- Nomenclatura de local e descrição;
- Informações sobre a propriedade e alterações.

Existem três entidades fundamentais no modelo IFC, derivados da classe *IfcRoot*

- Objetos (*IfcObjet*): que permitem a generalização de qualquer item;
- Relações (*IfcRelationship*): permitem a generalização de todas as relações entre itens;

- Propriedades (*IfcProperty*): definem as características que podem ser atribuídas aos objetos;

Os objetos podem ser ainda divididos em sete tipos fundamentais:

- Produtos (*IfcProducts*): definem objetos físicos ou construídos;
- Processos (*IfcProcess*): definem ações, por exemplo, de aquisição, construção, manutenção, que ocorrem durante um período de tempo;
- Controlos (*IfcControl*): entidades de controlo que controlam outros objetos;
- Recursos (*IfcResource*): entidades que descrevem a utilização de um objeto dentro de um processo;
- Atores (*IfcActor*): entidades que representam pessoas e organizações que trabalham ou pertencem à elaboração do projeto, ou futuros proprietários;
- Grupos (*IfcGroup*): entidades que agrupam objetos;
- Projeto (*IfcProject*): é a entidade que comporta todas as informações trocadas e dados globais do projeto, incluindo as unidades utilizadas, a característica principal desta entidade é a exclusividade, só havendo uma única entidade *IfcProject* num arquivo IFC

A Figura 2.16 permite exemplificar a hierarquia e organização das diferentes entidades IFC que caracterizam uma tarefa de agregação entre uma laje prefabricada e as vigas de suporte, é possível verificar que a entidade IFC de relacionamento está condicionada à tarefa de agregação entre o objeto *ifcSlab* e os diversos objetos *ifcBeam* que serão enumerados, sendo que cada dos objetos é caracterizado por um novo grupo de entidades.

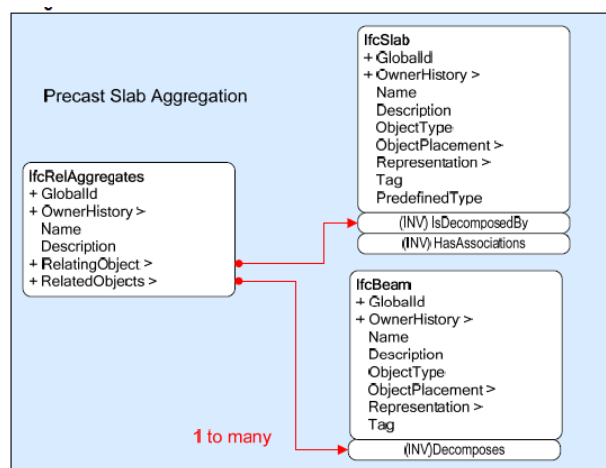


Figura 18 – Diagrama de relação de dados IFC de uma laje, adaptado de [34]

2.2.4 BIM aplicado em Projeto e Construção

A implementação de BIM permite aplicar aos modelos virtuais, as informações destinadas ao faseamento construtivo do edifício, acrescentando assim uma dimensão ao modelo, a dimensão temporal. Assim o modelo virtual deixa de ser apenas uma representação 3D do edifício, para se tornar um modelo 4D (3D com o dados sobre a calendarização), permitindo a simulação gráfica para as diferentes fases e tarefas construtivas (Figura 2.17), auxiliando as tarefas de tomada de decisões que impliquem novos prazos de execução do edifício [35].

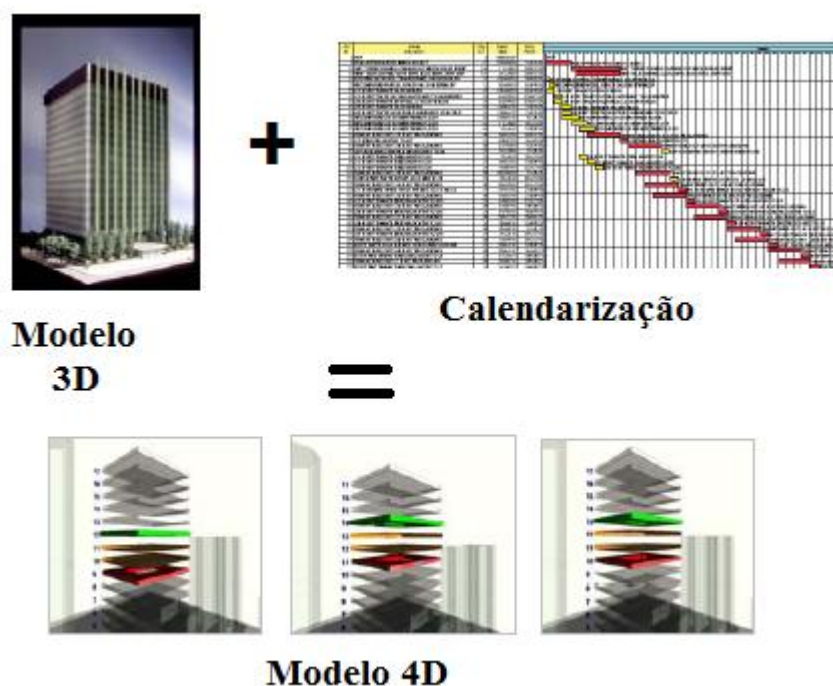


Figura 19 – Conceção de um modelo BIM 4D, adaptado de [35]

Atualmente, o faseamento construtivo tem sido desenvolvido e visualizado através de representações 2D (desenhos e diagramas construtivos) relativos a pormenores de cada fase, o que implica um esforço mental a idealização de uma visualização virtual do processo construtivo num determinado espaço e tempo. Muitos dos intervenientes podem não ter a capacidade de perceber este enquadramento virtual, de todo o projeto baseado só

nas informações dadas pelo diagrama de Gantt que só transmite a sequência dos eventos, visualização dos objetos a ela associados [36].

Na modelação em 4D os elementos construtivos do edifício são combinados com as atividades de construção para a análise da progressão da construção ao longo do tempo. Esta combinação é realizada com a ligação entre os objetos 3D e as atividades específicas necessárias para o construir na realidade, que no modelo podem ser controladas numa determinada temporização específica da construção, realizando diversas simulações de progressos e calendarizações de tarefas.

Esta capacidade de desenvolvimento e simulação de hipóteses construtivas, é uma mais-valia não só na aplicação nesta fase construtiva, mas ao longo de todo o processo de construção. Permite uma abordagem mais preventiva, na possibilidade de identificação de entraves nas fases iniciais de projeto, bem como os processos construtivos adotados poderem ser aqueles que melhores resultados apresentaram no conjunto de simulações realizadas. Além disso, o modelo BIM 4D pode ser usado como uma abordagem proactiva para melhorar o planeamento e a monitorização da segurança no local da obra e permitir um ajustamento contínuo ao modelo já no decorrer da construção, podendo depois antecipar quais seriam os impactes associados dessas alterações à calendarização final do projeto [25].

A modelação virtual 3D e a introdução de BIM permitem automaticamente gerar e extrair quantidades de materiais associadas a um determinado elemento construtivo, sendo possível desenvolver uma estimativa global das quantidades de materiais do edifício bem como os seus custos. Com a substancial interoperabilidade de ficheiros e quantidade de informações que transitam entre modelos virtuais e anexos, é possível transferir do modelo, para as aplicações BIM de estimação de custos associados à construção, desenvolvendo um modelo dinâmico a 5D, onde são compilados os dados sobre custos e metodologias de orçamentação para o desenvolvimento de planos de controlo de custos associados às variações de preços, quantidades e temporização de tarefas.

Ou seja, durante a fase de conceção o uso do BIM maximiza o seu impacto no projeto, desde a ideia concetual, dado que a sua capacidade para afetação do custo será maior e decrescerá consoante o desenvolvimento e conclusão do edifício, de acordo com a análise da alinha de custos de construção (Figura 2.18). As equipas podem de uma forma metódica e criativa conceberem ideias e soluções para os problemas antes que estes possam afetar de forma negativa as componentes financeira e construtiva do projeto.

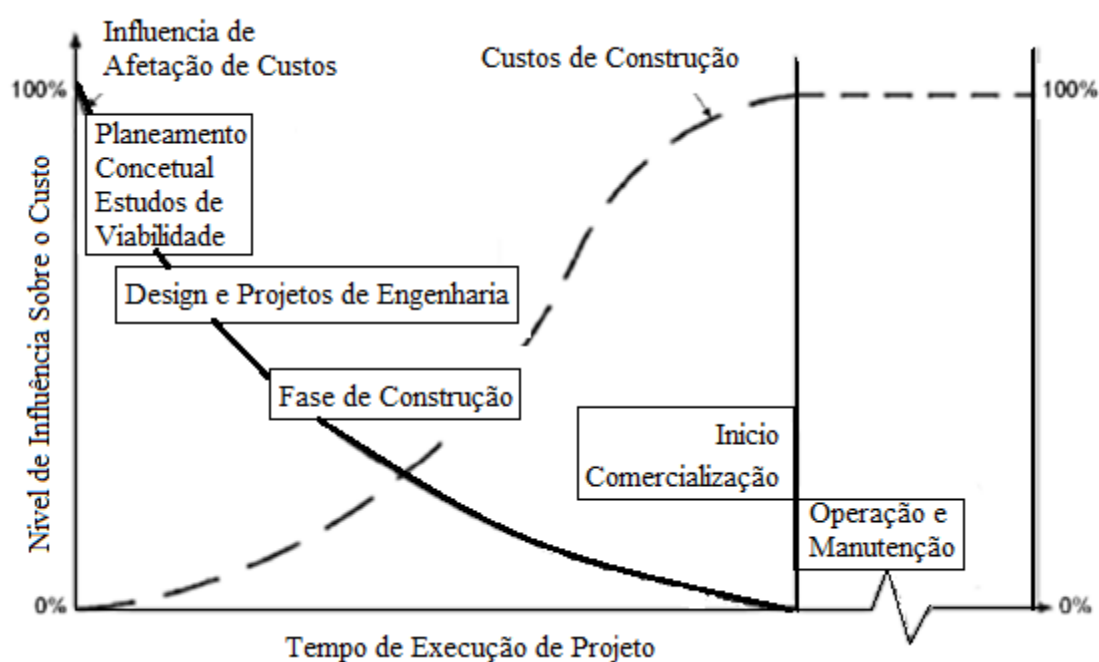


Figura 20 – Influência de custos ao longo das fases do edifício, adaptado de [25]

2.3 Aplicações Informáticas de BIM

Como já anteriormente referido, a utilização de BIM assenta na premissa da interoperabilidade entre as equipas de projeto e construção, com a expansão da utilização de BIM nos últimos anos, existem atualmente várias empresas ligadas à produção de aplicações e ferramentas BIM. As funcionalidades destas ferramentas agrupam-se por diferentes áreas de interesse relacionadas diretamente com a construção: arquitetura,

especialidades e gestão, sendo que por sua vez, estas ferramentas apresentam a capacidade de troca de informação através de ficheiros no formato IFC.

As grandes empresas de desenvolvimento de aplicações informáticas, como a Autodesk®, que começaram a sua atividade como fornecedores de aplicações para desenho técnico assistido por computador, atualmente apresentam uma variabilidade de aplicações BIM que engloba as diferentes vertentes de projeto e construção (Figura 2.19). Por exemplo, a Autodesk® Building Suite apresenta um conjunto de programas, que permitem a realização de projetos de várias especialidades com base na utilização de uma única aplicação base.



Figura 21 – Ciclo de vida do projeto de um edifício, adaptado de [37]

A rápida expansão do conceito de BIM e a sua difusão e utilização pelos diferentes intervenientes da indústria da construção, levaram ao desenvolvimento aplicações BIM com diferentes funcionalidades, otimizadas para os diversos setores da indústria. No quadro, são apresentadas algumas das aplicações BIM atualmente disponíveis no mercado, agrupadas por áreas temáticas de utilização.

Quadro 3 - Principais aplicações de BIM, agrupadas por áreas de funcionalidade, adaptado de [32]

Geometria/Arquitetura	Estruturas	Serviços de Construção
Autodesk® ADT	CSI	DDSGrandlund
Autodesk® Revit	Friedrich & Lochner	Lawrence Berkeley
Bentley Architecture	Tekla	A-NULL
Informatrix microGDS	Autodesk® Robot	Climawin
Graphisoft ArchiCAD	Sofistik	ElcoCAD
Nemetschek Allplan	Strusoft	RoCAD
	InterCAD	Klima2000
	RIB	CONTAMW
		Vico Software
Visualizadores	Base de Dados	Cálculo de Custos
NavisWorks	EPM Technology	Focus
Octaga	Oracle CBIM	Tocoman
DDS	Secom	Timberline
Solibri	Eurostep	Cadquant
TNO	STEP Tools	Sumitomo
Univ. Karlsruhe		Kajima

2.3.1 Aplicação BIM de Arquitetura

Apesar de todas as ferramentas de BIM, realizarem a modelação paramétrica do projeto, a escolha da aplicação BIM de arquitetura, desenvolvida pela empresa Graphisoft – ArchiCAD, que permite a exploração da complementaridade entre as representações 2D e 3D do modelo, as alterações e modificações coordenadas e automaticamente atualizadas em cada ambiente, reduzindo os erros e omissões que frequentemente verificados, quando é realizada a comparação entre os desenhos técnicos [38]. Dos vários projetos de arquitetura realizados com a aplicação ArchiCAD pode-se destacar o edifício Kumuto (Nova Zelândia), classificado com 5 estrelas na avaliação ambiental e o maior parque ecológico finlandês – Econia Business Park (Figura 2.20).



Figura 22 - Edifício Kumuto (à direita), Eicon Business Park (à esquerda),[39, 40]

A escolha da aplicação ArchiCAD para a criação do modelo de arquitetura reflete também uma particularidade específica deste programa na conceção paramétrica, que é utilização de GDL – Geometric Description Language.

Parametrização com recurso à linguagem de programação GDL

A parametrização em GDL permite o desenvolvimento de novos objetos parametrizáveis em ambiente 2D e 3D (Figura 2.21) através da utilização de uma linguagem de programação, esta funcionalidade permite a elaboração de diversos itens e objetos paramétricos que muitas vezes não estão incluídos nas ferramentas base do programa [41].



Figura 23 – Exemplos de objetos paramétricos GDL, adaptado de [42]

A utilização de GDL para a criação de objetos, permitiram a constituição de bibliotecas ArchiCAD virtuais, organizadas por funções ou especialidades (mobiliário, janelas e

portas, componentes estruturais, componentes de jardim, veículos, pessoas), que podem ser distribuídas gratuitamente ou comercializadas, através de add-ons desenvolvidos por empresas especificadas, como a Cadimage.

2.3.2 Aplicações BIM de Especialidades

No contexto da presente dissertação e de acordo com a informação disponibilizada no quadro, sobre as aplicações BIM, foi escolhida a aplicação Autodesk® Revit MEP para o desenvolvimento dos projetos da especialidade de hidráulica, uma vez que é uma das aplicações com maior uso a nível internacional. A aplicação Revit MEP possibilita o dimensionamento dos diferentes componentes hidráulicos, permite a compilação de relatórios sobre as quantidades de tubagem e perdas de pressão (Figura 2.22), além de ser compatível com utilização de ficheiros IFC.

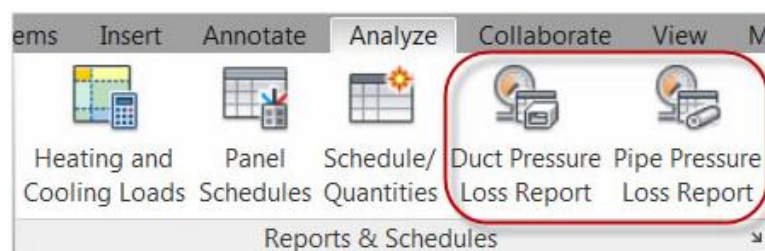


Figura 24 - Exemplo de ferramentas disponíveis em Autodesk® Revit MEP, adaptado de [43]

No que respeita às aplicações para a análise térmica de edifícios existem limitações à integração de BIM. De acordo com o relatório elaborado pela Grandlund [44], as seguintes aplicações IES (5.8.1), IDA ICE 3.0, Ecotect, EnergyPlus v2.1 e E-Quest 3-6, foram sujeitas a testes de importação e análise de modelos virtuais elaborados com aplicações BIM, nas versões IFC e gbXML (Figura 2.23)

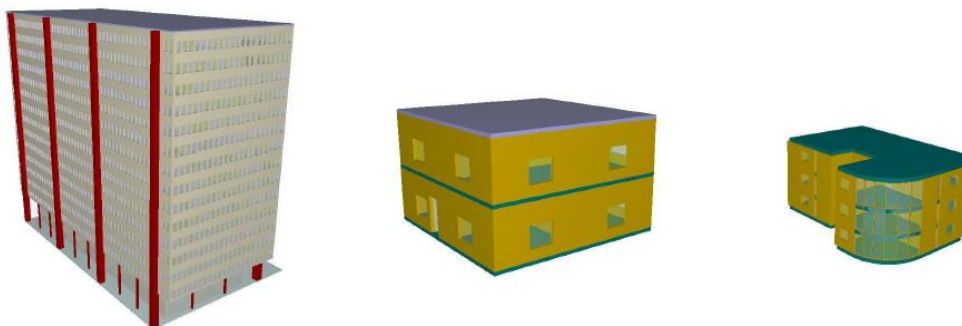


Figura 25 - Modelos BIM usados para comparação entre aplicações, adaptado de [44]

Da análise de importação dos diferentes ficheiros, apresentada no Quadro 4 foi possível obter as seguintes informações sobre as aplicações: a aplicação IES apenas permite a importação de modelos em gbXML, o Ecotect, suporta as importações das duas versões em estudo, mas no caso de modelos complexos apresenta erros de importação de acordo com a Figura 2.24, a aplicação RIUSKA permite a importação com sucesso dos três modelos (Figura 2.25). As restantes aplicações, não suportam a importação em IFC ou no mínimo, necessitam de uma conversão da geometria do modelo IFC para outros formatos de dados compatíveis com a aplicação, como é o caso da aplicação EnergyPlus.

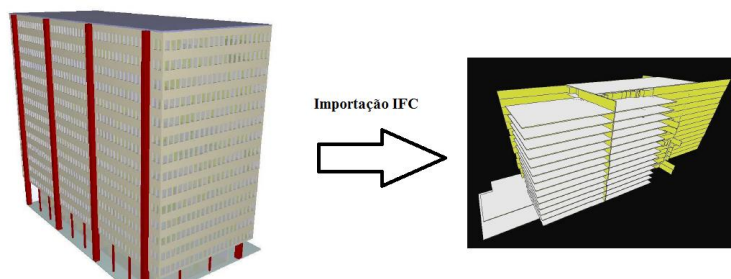


Figura 26 - Resultado da importação do Ficheiro IFC para Ecotect, adaptado de [44]

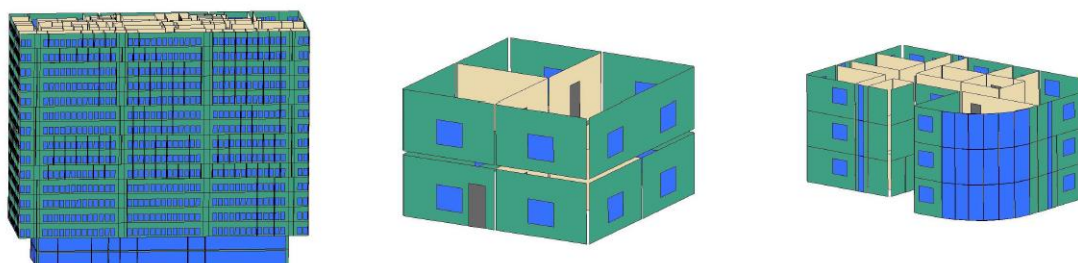


Figura 27 - Resultados da importação IFC para RIUSKA, adaptado de [44]

Quadro 4 - Quadro comparativo de aplicações para análise térmica

	IES 5.8.1	Ecotect 5.6	E-Quest 3-6	EnergyPlus V2.1	IDA ICE 3.0	RIUSKA 4.4
Importação/Exportação Para BIM	gbXML/Nenhum	IFC, gbXML/ IFC ,gbXML	gbXML (indiretamente) Nenhum	(IFC), gbXML/ Nenhum	IFC/Nenhum	IFC/IFC
Modelação em 3D	Através de CAD	Através de CAD	Simples, com restrições	Não permite, só Externamente	Através de CAD, ou no programa	Através de CAD
Benefícios	Varias simulações possíveis	Simulação solar e iluminação	Definições de sistemas HAVAC	Simulação avançada		Aplicável a grandes projetos
Limitações	-	IFC/gbXML em modo Beta	BIM não funciona como deveria ser suposto	A importação de modelos BIM pode ser impossível	Não suporta edifícios complexos	Limitações sistemas HAVAC

3. CASO DE ESTUDO – DESENVOLVIMENTO DE EDIFÍCIO EM BIM

Neste capítulo pretende-se o desenvolvimento do projeto geral para uma habitação modular, utilizando a aplicação BIM ArchiCAD 15. Este modelo será usado como base para o posterior desenvolvimento dos projetos de especialidades de hidráulica e térmica, a abordar no próximo capítulo.

Atendendo à explicação exercida no capítulo anterior, uma das relevantes valias da aplicação BIM para a prefabricação relaciona-se com a utilização de modelos paramétricos, ou seja, modelos cuja geometria pode ser definida com recurso a parâmetros relativos, que podem ser partilhados por mais do que um elemento [45] (Figura 3.1). Este conceito de modelação permite que em qualquer momento os dados de cada elemento possam ser alterados ou modificados, sem haver a necessidade de repetir os passos de modelação realizados inicialmente, diminuindo o tempo de modelação final.

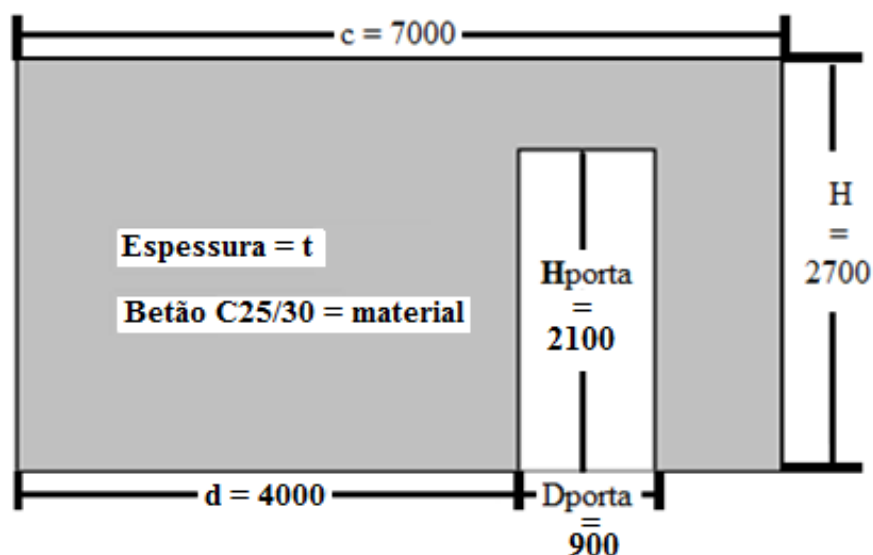


Figura 28 – Modelação do elemento através da utilização de parâmetros relativos

3.1 Soluções Estruturais e Projeto de Arquitetura

O projeto de arquitetura a desenvolver, assume como elemento unitário de construção a utilização de painéis sandwich estruturais com dimensões tipo de 6.00m por 3.80m de altura, dimensões transversais de 0.05m e 0.10 para as camadas externas de betão e de 0.05m para a camada interna de isolamento apresentado na Figura 3.2. A configuração da secção transversal do painel em estudo é baseada no painel comercial apresentado na Figura 3.3, onde também é apresentado o mapa de distribuição dos conetores verticais que ligam as camadas externas de betão com a camada interna de isolamento.

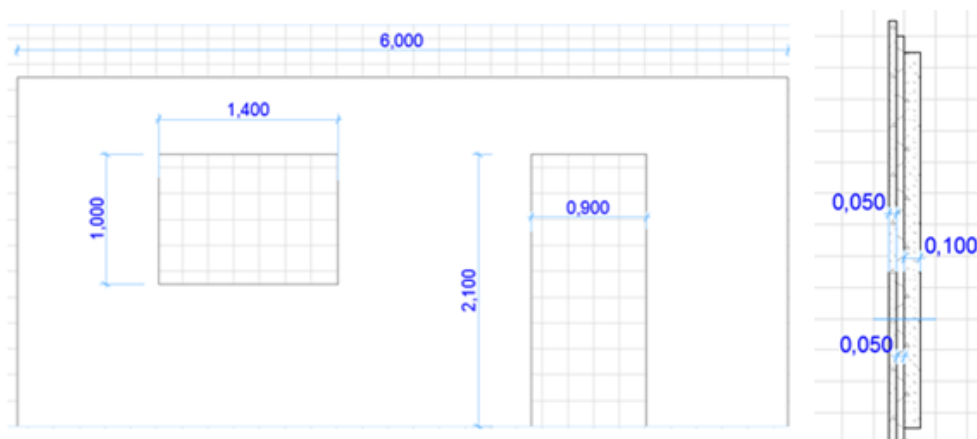


Figura 29 - Alçado e Secção do Pannel Sandwich

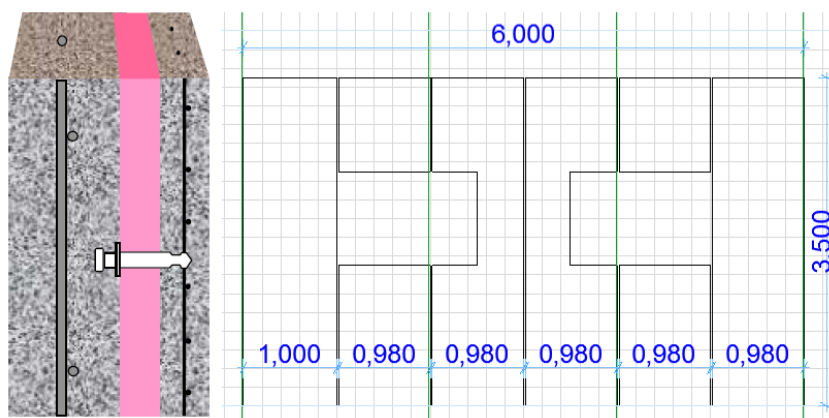


Figura 30 - Pannel Comercial (à direita) e a distribuição dos conetores verticais (à esquerda)

A disposição espacial de cada painel permite conceber três módulos construtivos apresentados na Figura 3.4, que correspondem à planta adotada para caso de estudo, no entanto, podem estes serem recombinações de acordo com as necessidades específicas para cada tipo de projeto, remetendo-se ao Anexo I a apresentação dos alçados de projeto. Já na Figura 3.5 é apresentada planta de fundações do sistema, em conjunto com as secções tipo utilizadas. A utilização de painéis predefinidos permite, que os restantes elementos construtivos possam ser desenvolvidos com dimensões otimizadas para os diferentes módulos a construir, sendo que a standardização de painéis com um máximo de 6m permitem a construção de módulos com um painel de fachada em cada direção, limitando uma área interna de 36m².



Figura 31 – Disposição dos módulos para a caso de estudo em análise

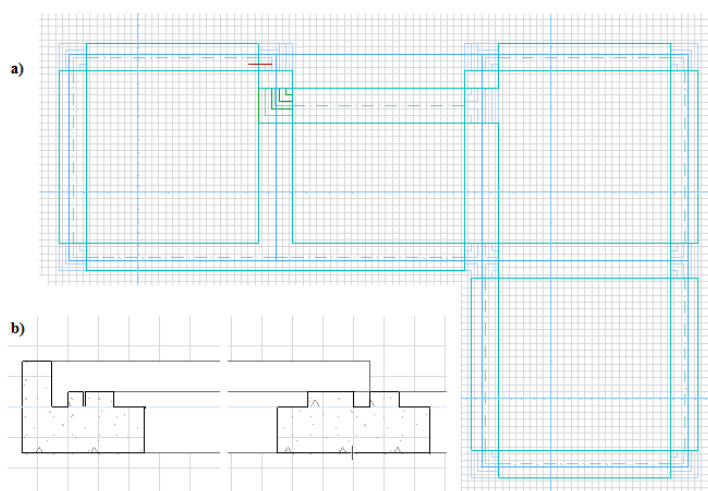


Figura 32 - a) Planta de Fundações do projeto de Arquitetura; b) Secções Tipo das Vigas

No que respeita aos elementos de piso e cobertura para a solução modular proposta, são apresentadas na Figura 3.5 as secções tipo, que consistem num sistema de painéis compósitos sandwich para ambos: as camadas externas do painel possuem 5cm e 10cm sendo realizadas em betão, complementado por 10cm de material de isolamento para os painéis de cobertura, nos painéis de piso a camada exterior superior é realizada em madeira, correspondendo ao material de acabamento interior.

Dado que é possível construir em ambiente controlado os diferentes painéis sandwich verticais, (comprovado pela existência de painéis comercializáveis), o mesmo método construtivo pode ser aplicado à conceção dos restantes painéis para a colocação no piso e cobertura. Contudo salienta-se que as soluções de painéis propostas carecem da realização de uma avaliação estrutural para a verificação da possibilidade de construção num caso real.

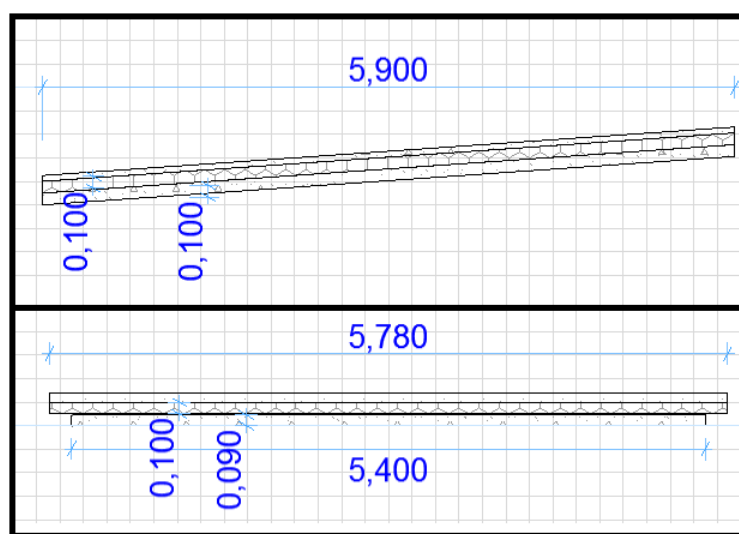


Figura 33 - Secções Tipo: Painel de Cobertura (em cima) e Painel de Piso (em baixo)

Depois de idealizadas as secções tipo para os elementos de piso e cobertura, são definidas as suas disposições em planta, sendo compatibilizadas com a disposição estrutural dos painéis verticais já anteriormente apresentados.

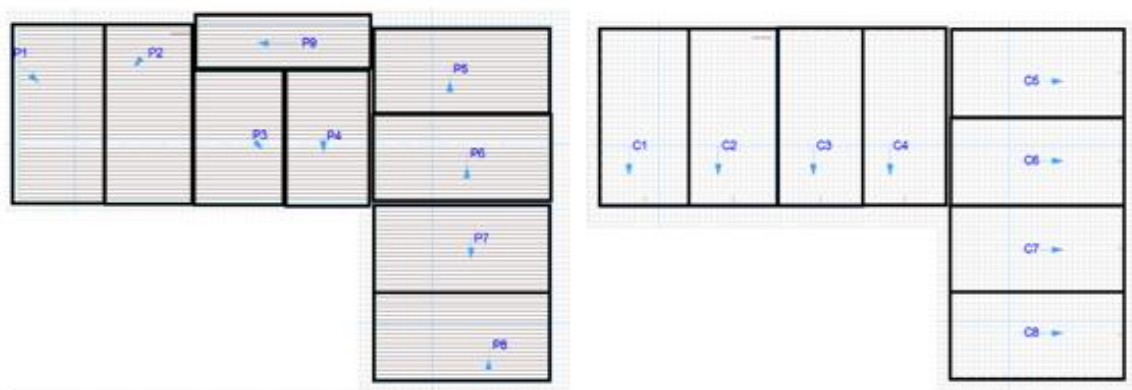


Figura 34 – Disposição dos painéis de Piso (à direita) e Disposição dos Painéis de Cobertura (à esquerda)

Com definição dos principais elementos de projeto: painéis verticais, vigas de fundação, painéis de piso e de cobertura, são necessárias as pormenorizações dos elementos de ligação entre os elementos, como demonstrado pela Figura 3.8, onde são representados no corte transversal do modelo alguns dos pormenores de ligação a serem listados no Quadro 5.

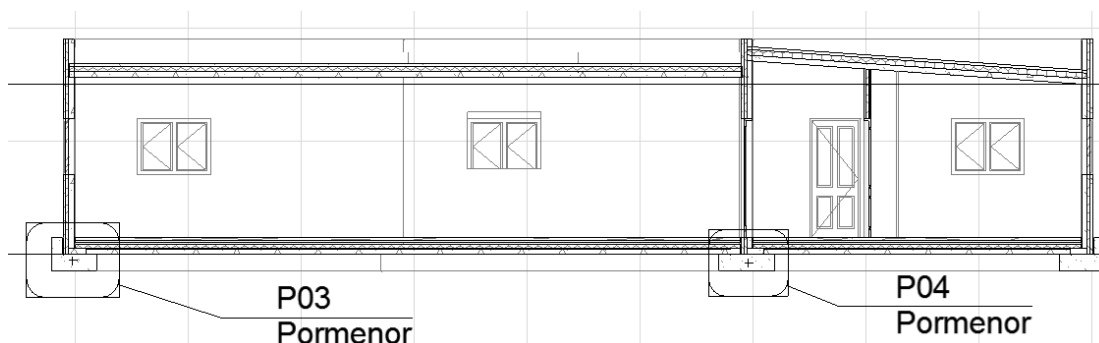
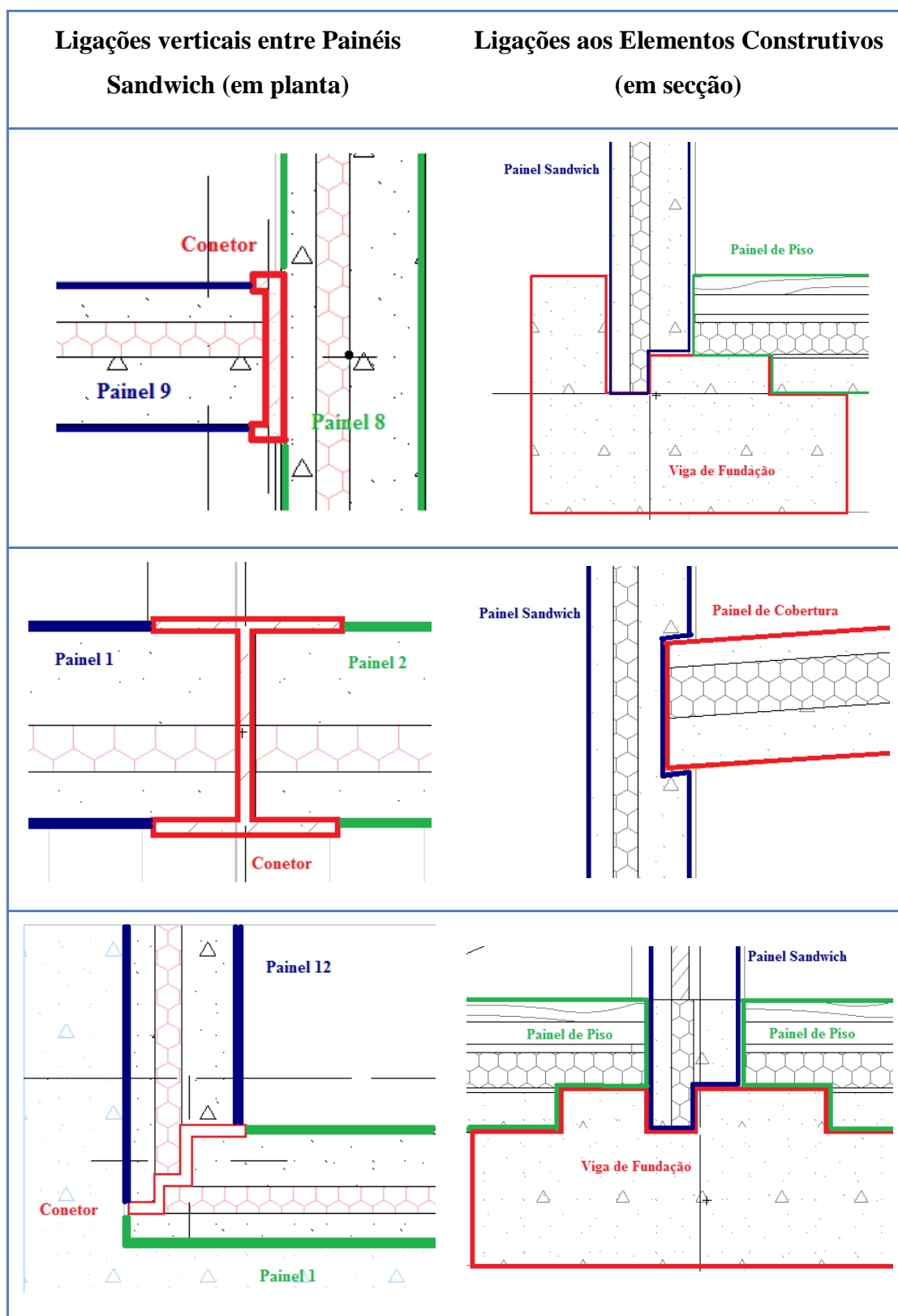


Figura 35 - Corte Longitudinal do Projeto

Quadro 5 - Apresentação de pormenores de ligação



Observando o Quadro 5, verifica-se que para cada interseção vertical entre os painéis de fachada existirá um conetor específico associado, construído em fibra de vidro e

consolidado aos painéis com o através da colagem com resinas epoxídicas. Estão no quadro representadas 3 situações: ligações entre painéis paralelos e contínuos e as ligações entre painéis de esquina. Sendo ainda no mesmo quadro apresentados os pormenores de ligação entre elementos verticais e horizontais – vigas de fundação e painéis de piso e de cobertura.

Nas Figuras 3.9 e 3.10 são apresentados os pormenores da conceção dos painéis de piso e de cobertura, complementares à Figura 3.6, descrevendo pormenorizando as dimensões e materiais usados na elaboração dos painéis.

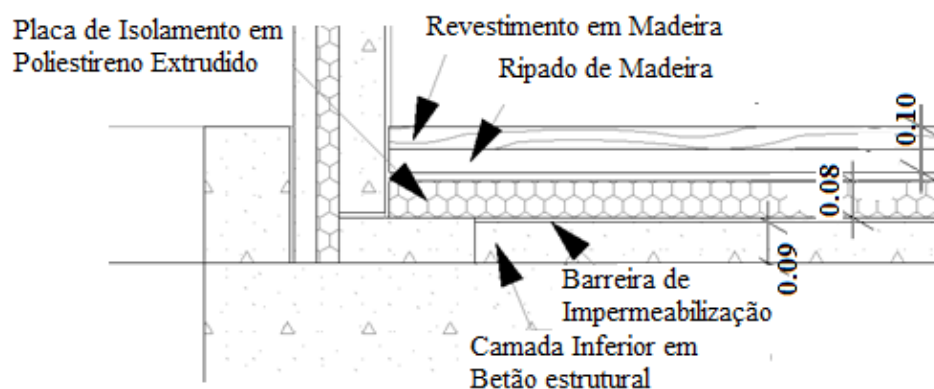


Figura 36 – Pormenor da seção tipo do Pannel de Piso.

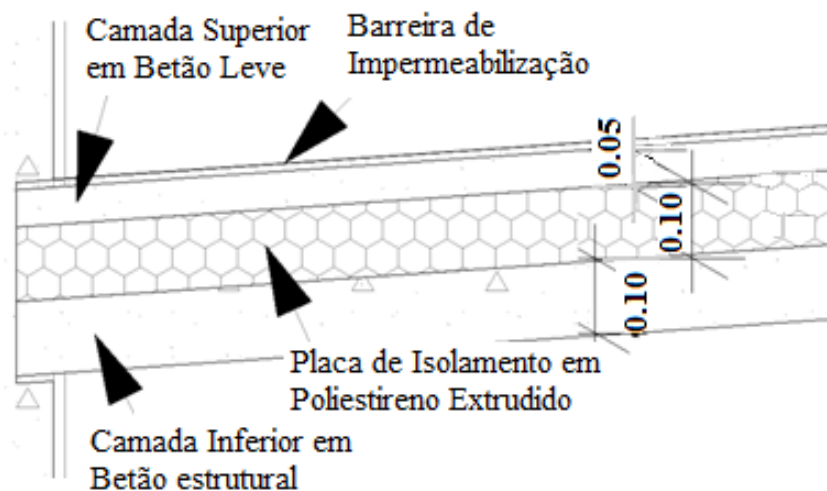


Figura 37 – Pormenor da seção tipo do Pannel de Cobertura.

3.2 Parametrização dos Painéis Sandwich através de GDL

Conforme indicado no capítulo anterior, a utilização de linguagem GDL, permite a elaboração objetos parametrizáveis BIM. A programação em ambiente GDL permitira a definição dos vários parâmetros do elemento em causa. Dada a abrangência e versatilidade de conceção de diferentes elementos preconizada pela utilização desta ferramenta de programação, no âmbito da presente dissertação, apenas se pretendeu o desenvolvimento de painéis sandwich verticais, para provar o conceito de que será possível o desenvolvimento de um modelo de arquitetura BIM completo em ArchiCAD com a ferramenta GDL. Na Figura 3.10 é exemplificado o ambiente de trabalho para o desenvolvimento GDL.

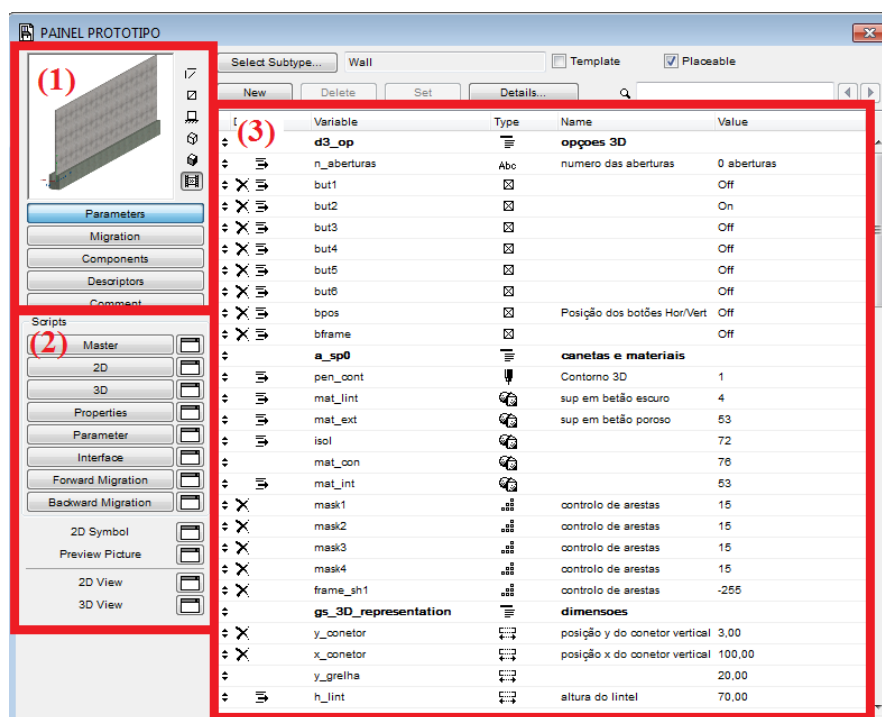


Figura 38 – Apresentação do ambiente de programação GDL

De acordo com a Figura 3.10, o ambiente de desenvolvimento GDL está organizado em três áreas distintas e relacionáveis entre si, (1) e (2), correspondem aos menus principais para a programação, que são maximizados na janela de trabalho (3).

Por defeito, sempre que é iniciada a construção de um novo objeto GDL, são apenas dispostos um conjunto mínimo de parâmetros que podem ser usados para a representação dimensional e localização do objeto. Para efeito da criação de objetos complexos, este conjunto inicial de parâmetros é insuficientes, sendo necessária a personalização do subconjunto do elemento GDL (Figura 3.11). No presente caso, para a modelação em GDL dos painéis sandwich, foi escolhido o subtipo *Parede*.

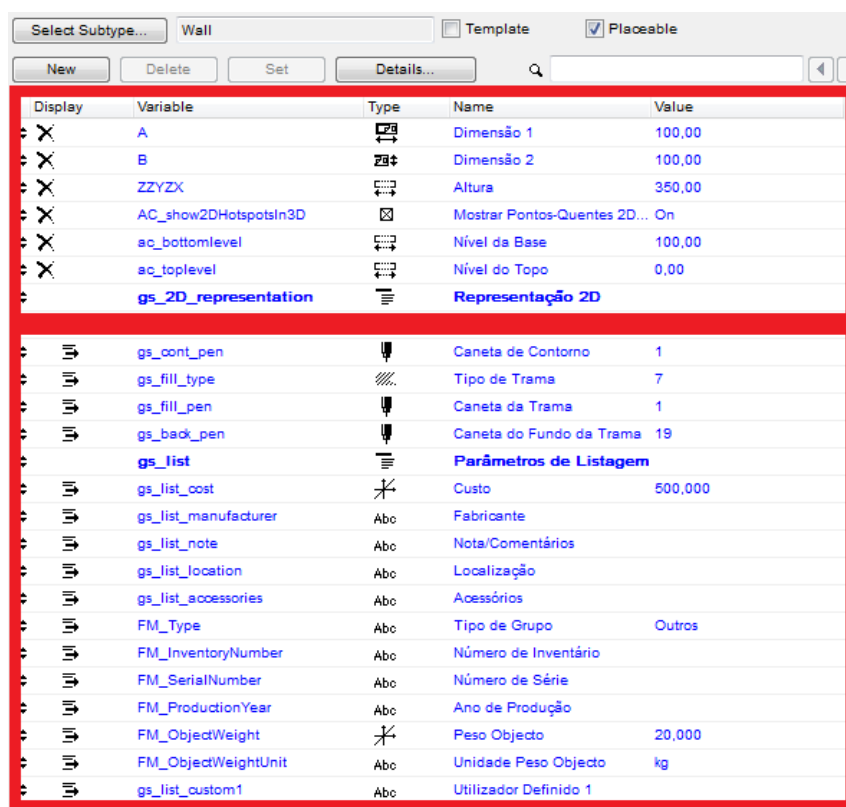


Figura 39 - Listagem dos Parâmetros base e adicionais

A programação dos diferentes elementos, independentemente da dimensão pretendida (2D ou 3D), é realizada com a utilização simultânea ou individual de um determinado conjunto de comandos (Quadro 7), que podem ser distribuídos de acordo com nível familiaridade na utilização da programação GDL, bem como o nível de complexidade da parametrização pretendida [46]:

- Nível Iniciante: conjunto de comandos com interpretação simplificada que não necessitam por parte do utilizador, profundos conhecimentos de programação;

- Nível Intermédio: conjunto de comando que permitem descrever formas mais complexas e conter mais informações para além da geometria.
- Nível Avançado e Experiente: conjunto de comandos que permitem o desenvolvimento operações automáticas de blocos (Adição, interseção, subtração), apresentado na Figura 3.13.

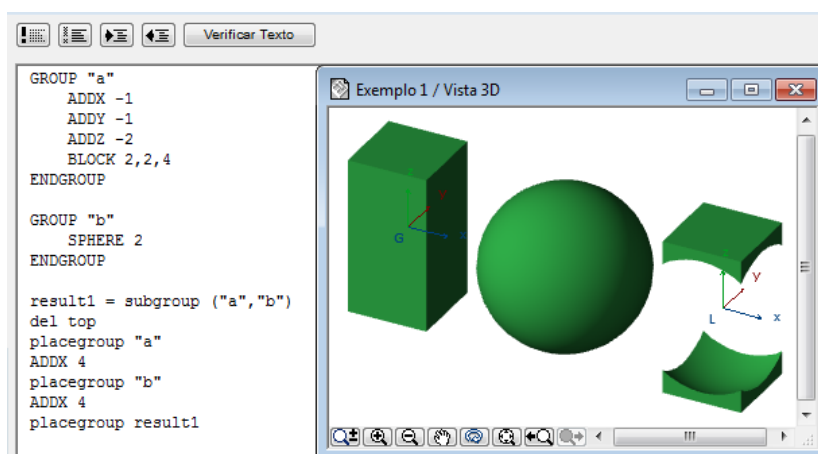


Figura 40 – Exemplo operações entre comandos GDL

Na Figura 3.13, para além da exemplificação gráfica das operações entre comandos GDL, é possível visualizar o código GDL associado, neste caso para a parametrização de objetos em 3D. Verifica-se que a estrutura de código estabelece dois grupos, a que são realizadas operações de subtração entre a estrutura integrada no grupo *a* – um sólido prismático, com a estrutura do grupo *b* – uma esfera.

Quadro 6 - Exemplos de comandos GDL, adaptado [46]

	INICIANTE	INTERMÉDIO	AVANÇADO
2D	LINE2	FRAGMENT2	PICTURE2
	RECT2	HOTSPOT2	SPLINE2
	CIRCLE2	TEXT2	POLY2_A
	ARC2	POLY2	SPLINE2_A

Quadro 7 - Exemplos de comandos GDL (Continuação)

3D	INICIANTE	INTERMÉDIO		AVANÇADO		
	BLOCK	ELLIPS	PLANE	BWALL_	CWALL_	TUBE
	PRISM	CPRISM_	CONE	PICTURE	FPRISM	COONS
	CIRCLE	SLAB_	POLY	PYRAMID	XWALL_	MESH
	SPHERE	CSLAB_	TEXT	REVOLVE	CROOF_	MASS

O painel sandwich apresentado na figura 3.14, é o resultado final da conceção em GDL da parametrização 2D e 3D dos componentes apresentados no Quadro 8, sendo que os respetivos códigos apresentados no anexo II-1. Cada elemento das camadas do painel é construído com o comando *cwall_*, já apresentado no quadro 7, que permite a parametrização do número e dimensões das aberturas a realizar no painel, sendo que a posição dos conetores verticais foi apresentada na Figura 3.3.

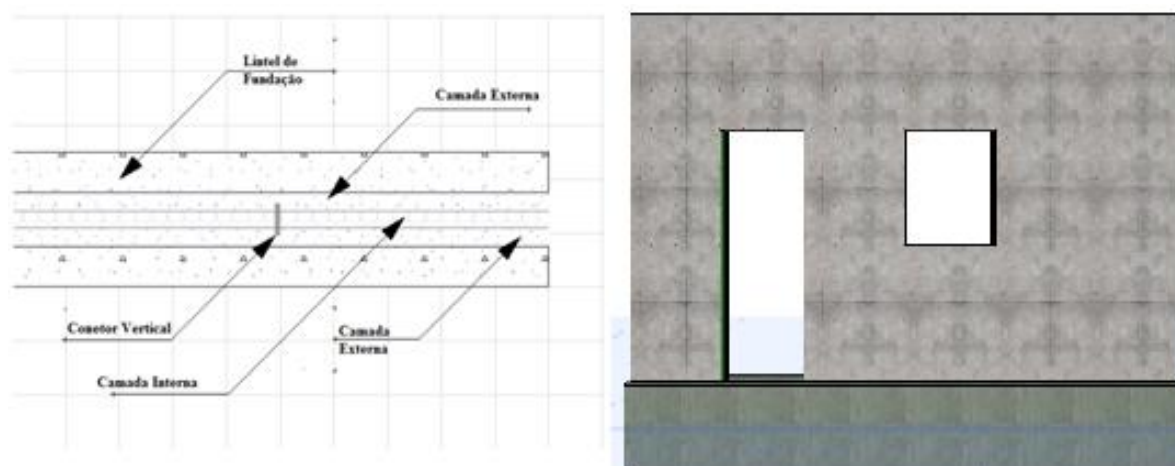
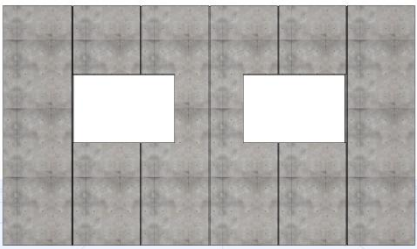
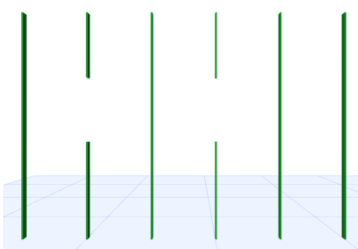
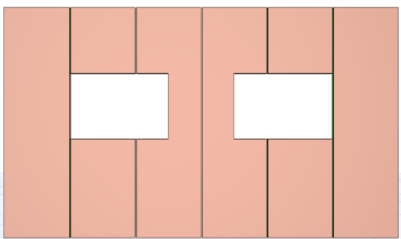
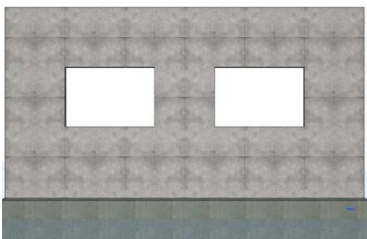


Figura 41 - Representação em 2D e 3D do painel sandwich em GDL

Quadro 8 – Componentes Pannel Sandwich

Camada Externa		Conetores Verticais	
Camada Interna		Camada Externa	

A estrutura do código do painel sandwich está organizada de acordo com a Figura 3.15, sendo executado em duas fases: a primeira corresponde ao desenvolvimento dos códigos que representam a geometria das camadas, da construção do lintel de fundação e conetores verticais, sendo cada um destes, inserido num grupo. Esta estratégia permite, que na segunda fase sejam realizadas as tarefas de adição e subtração de elementos geométricos, que permitindo criar os entalhes nas camadas para o encaixe dos conetores verticais (Figura 3.16).

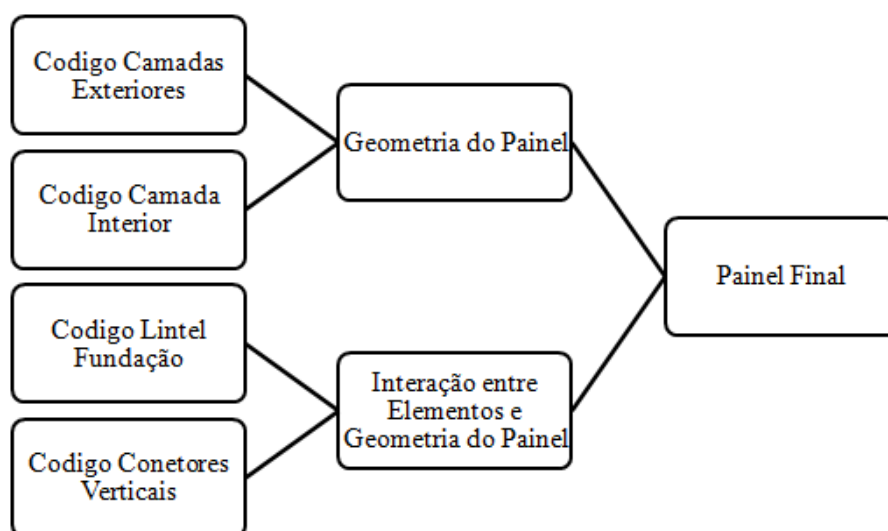


Figura 42 - Estrutura do código GDL do painel sandwich

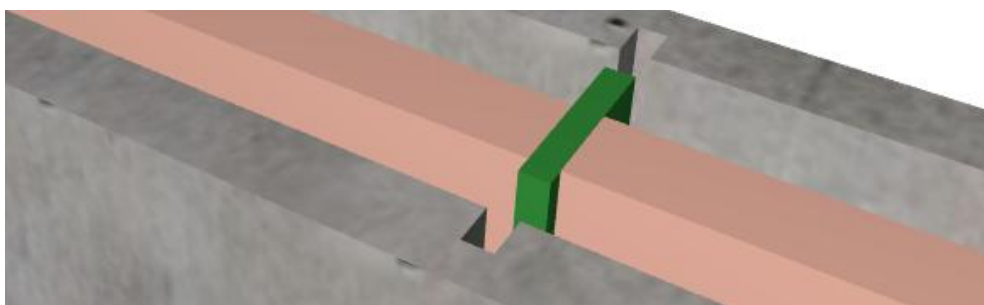


Figura 43 - Pormenor do entalhe geométrico realizado nas camadas para a colocação dos conetores verticais (camadas apresentadas de forma separada do isolamento para facilitar a compreensão da imagem)

A parametrização das aberturas pelo utilizador é realizada através da utilização de uma janela de introdução de dados, que permite a parametrização direta dos dados geométricos e materiais, sem a necessidade de alterações do código base. A Figura 3.17 apresenta a janela desenvolvida para a definição de aberturas no painel, onde é apresentada uma primeira pagina para a especificação dos materiais e dimensões das camadas, e uma segunda pagina dedicada à parametrização do número de aberturas (sendo o limite máximo de quatro). O código desenvolvido no âmbito deste trabalho é apresentado no Anexo II-2.

 The image displays two screenshots of a software interface for defining panel openings. The left screenshot shows 'Definições das aberturas' with 'Page 1' selected, containing general dimensions and material type settings. The right screenshot shows 'Page 2' selected, containing settings for the number and dimensions of the openings.

Definições das aberturas - Page 1			
<input checked="" type="checkbox"/> Page 1 <input type="checkbox"/> Page 2			
Dimensões Gerais			
coord x1	0,00	0,00	0,00
coord x2	600,00	600,00	600,00
coord x3	600,00	600,00	600,00
coord x4	0,00	0,00	0,00
Altura Painel	350,00	Expessura lamina	6,00
Tipo Material		Lamina Exterior:	
		Surf-Pou...	
		Isolamento:	
		Paint-09	
		Lamina Interior:	
		Surf-Pou...	

Definições das aberturas - Page 2			
<input type="checkbox"/> Page 1 <input checked="" type="checkbox"/> Page 2			
Tipo de aberturas		2 aberturas	
inicio x	100,00	300,00	
inicio z	30,00	150,00	
fim x	190,00	400,00	
fim z	250,00	250,00	

Figura 44 - Introdução de dados geométricos e materiais do painel a colocar, bem como o número e dimensões das aberturas.

Com a finalização do código para a janela de dados, o painel sandwich estará preparado para a sua colocação no ambiente gráfico ArchiCAD, no entanto, dado que as aberturas

geradas correspondem a vãos vazios e como se trata de uma habitação residencial, é necessária a colocação de janelas e portas ao modelo.

Ambos os objetos (janelas e portas) são também gerados a partir de código GDL), porém a sua codificação corresponde a um nível avançado, cuja replicação para a adição ao código GDL do painel sandwich, impossibilita a obtenção de resultados positivos, durante o desenvolvimento da presente dissertação. Assim, com base na ferramenta de parametrização de elementos criada em GDL é possível elaborar rapidamente o modelo de painéis de fachada do edifício, sendo apresentada a planta na Figura 3.18 e a visualização 3D do modelo GDL na Figura 3.19.

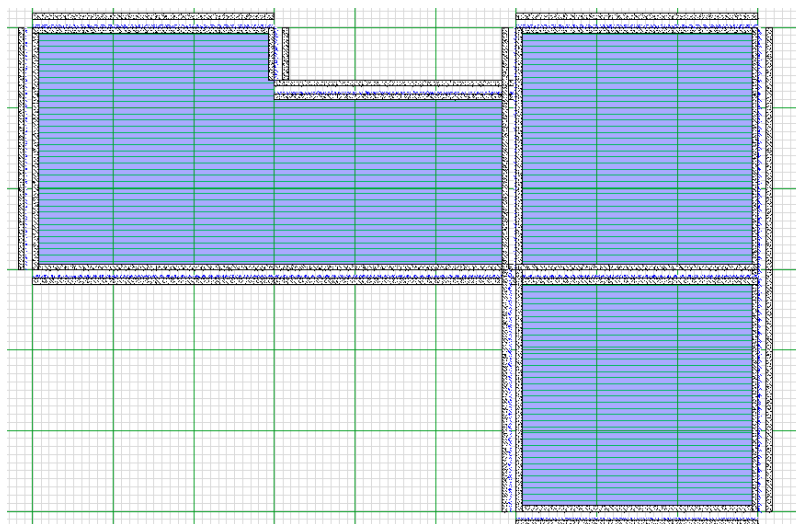


Figura 45 - Planta do Modelo de Arquitetura

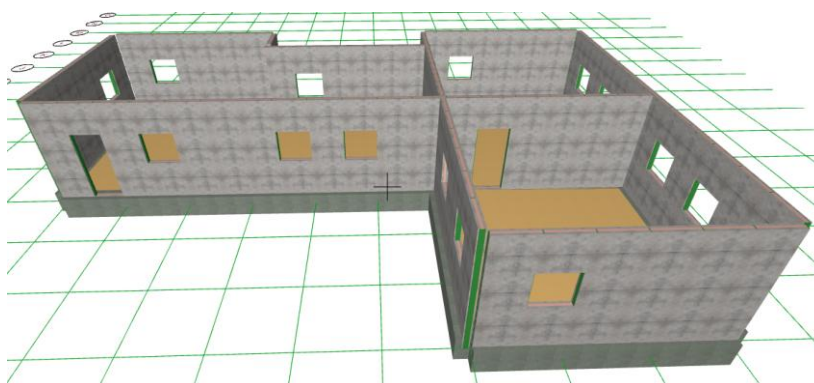


Figura 46 - Visualização do Modelo 3D

Com a colocação dos painéis no ambiente de trabalho ArchiCAD, foi desenvolvida a interação entre os painéis de fachada criados e as diferentes ferramentas de modelação pertencentes à aplicação. No entanto foram detetadas limitações à conceção do modelo, sendo a mais importante, referente à impossibilidade de adição de janelas e portas, aos elementos gerados em GDL. Como já referido, estes elementos são também objetos GDL, cujas propriedades geométricas interagem com as modelações de elementos de parede ou laje. Na Figura 3.20 é realizada a comparação entre o painel GDL executado com uma parede modelada.

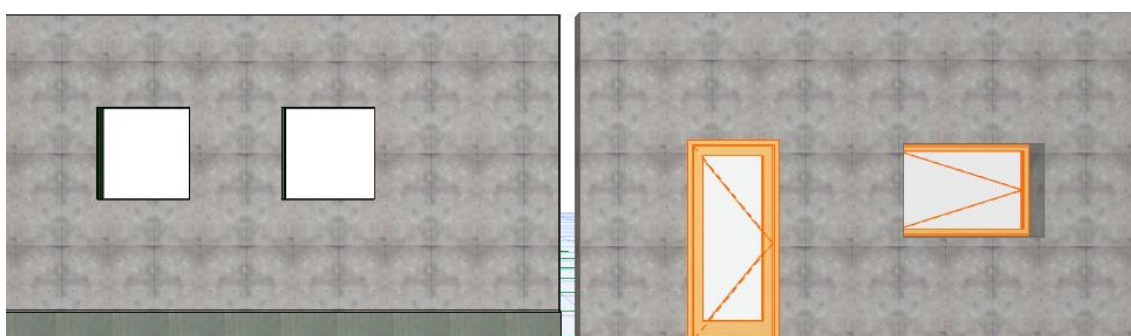


Figura 47 – Painel gerado em GDL (à esquerda); Parede realizada com as ferramentas ArchiCAD (à direita)

Para além da inexistência da interação entre objetos GDL, são detetadas mais duas limitações à conceção do modelo, enumeradas em seguida:

- As listagens de quantidades e materiais gerados automaticamente pela aplicação ArchiCAD, não reconhecem os elementos GDL como elementos quantificáveis por medição de quantidades, por oposição a um modelo normal, onde é possível ser especificado as quantidades usadas de cada material por elemento construtivo;
- Após a conversão do ficheiro ArchiCAD para IFC e realizando a comparação entre um modelo BIM tradicional e o modelo realizado em GDL (apresentado na Figura 3.19), verifica-se que as aberturas realizadas nos painéis GDL não são contabilizadas nem reduzidas às áreas de cada painel; os materiais escolhidos em GDL não apresentam a informação no ficheiro IFC, apenas a representação visual do material.

3.3 Parametrização dos Painéis Sandwich com Recurso a IFC

O primeiro passo para o desenvolvimento da macro para a geração automática de ficheiros IFC, foi a compreensão da estrutura organizacional de um ficheiro IFC. Para isso foi utilizada uma estratégia sucessiva de geração de paredes de complexidade crescente em ArchiCAD, exportando o resultado para o formato IFC. Este processo permitiu uma compreensão rápida das partes relevantes do ficheiro IFC e das nomenclaturas de comandos a aprofundar.

Assim a estrutura IFC, em primeiro lugar encontra-se dividida em duas secções, o *Header* do ficheiro e o Corpo de dados. O *Header* armazena os dados gerais sobre o ficheiro IFC – Aplicação utilizada para gerar o ficheiro, data, local, tipo de elementos registados, etc.), No corpo de dados são descritas as unidades do ficheiro, a localização espacial do modelo bem como a caracterização de cada elemento construtivo. No anexo II-3 é apresentado um ficheiro IFC de uma parede simples, aberto no editor de texto “Bloco de Notas”.

Estas são as estruturas base comuns a todos os ficheiros analisados, para cada elemento construtivo presente no ficheiro IFC a estrutura de armazenamento de dados no ficheiro é semelhante à enumeração seguinte:

- Localização espacial do elemento;
- Descrição da geometria e material do elemento;
- Especificação do tipo de elemento;
- Descrição de aberturas – localização e área;
- Parâmetros IFC aplicáveis.

Os parâmetros IFC aplicáveis, foram introduzidos na aplicação ArchiCAD. Esta ação permite a caracterização do elemento construtivo com parâmetros IFC que podem ser usados por diferentes aplicações, que analisam o elemento construtivo, por exemplo, existem parâmetros IFC que armazenam o ano de conceção do elemento, lote e numero de serie, estas informações permite a gestão virtual dos elementos para gestão de armazém de

materiais, num ambiente de prefabricação, um dado importante na aplicação de BIM à indústria da prefabricação.

3.4 Desenvolvimento Macro Excel

Procedeu-se à elaboração de uma macro em Visual Basic for Applications (em ambiente Microsoft Excel), capaz de gerar ficheiros IFC, com diversas configurações de painéis sandwich capazes de serem importadas em aplicações BIM de arquitetura, utilizando as células de Excel como campos de introdução de dados referentes à geometria do painel (Figura 3.21) e propriedades IFC (Figura 3.22).

Dado o perfil estrutural do ficheiro IFC anteriormente obtido, a macro VBA está organizada subfunções de variáveis de texto, assim existem as subfunções: *Parede* que armazenam os dados referentes à geometria e material da camada do painel; *Aberturas* onde são caracterizadas as aberturas a realizar em cada camada e as *ifcParede* onde são compiladas as variáveis de texto correspondentes às propriedades IFC a serem introduzidas em cada camada do painel.

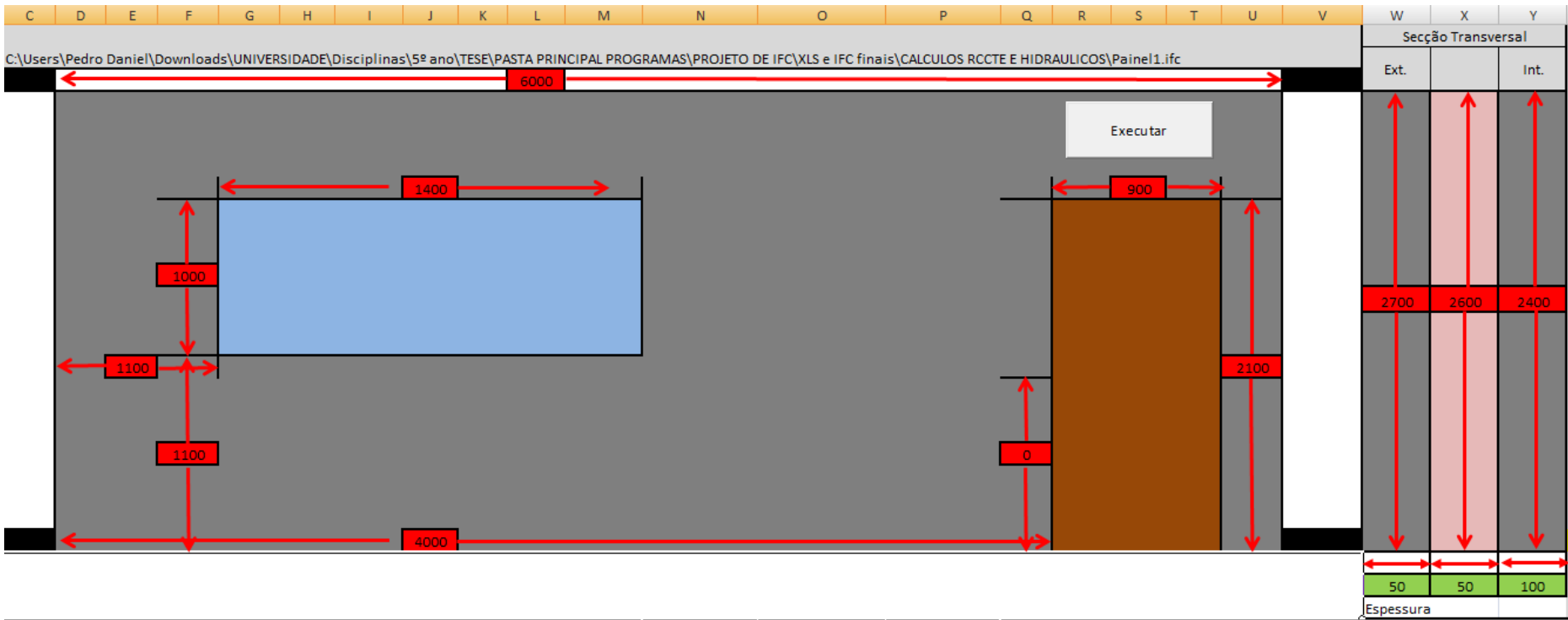


Figura 48 - Folha de Introdução de Dados para a Geometria do Paine

ConcreteCoverAtLinks'	20	0.0	30
ConcreteCoverAtMainBars'	20	0.0	30
ServiceLife'	50	50	50
StructuralClass'	S4	S4	S4
FireRating'	2 Horas	2 Horas	2 Horas
ExtendToStructure'	T	T	T
FireRating	2 Horas	2 Horas	2 Horas
Combustible'	F	T	F
AcousticRating'	32 dB	32 dB	32 dB
ThermalTransmittance'	0.35	0.35	0.35
HorizontalBarPitch'	20	0.0	20
SpacingBarPitch'	20	0.0	20
VerticalBarPitch'	20	0.0	20
ElementWeight'	0	0	0
ElementNetVolume'	0	0	0
ElementGrossVolume'	0.81	0.78	1.5
ProductionYear'	2012	2012	2012
ModelReference'	Painel Exterior	Painel Intermedio	Painel Interior
ArticleNumber'	1	1	1
TotalConcreteQuantity'	0.68	0.0	1.24
FireResistanceRating'	2 Horas	2 Horas	2 Horas
IsCombustible'	F	F	F
LayerName'	Painel Sandwich	Painel Sandwich	Painel Sandwich
Renovation Status'	Existing	Existing	Existing

Figura 49 – Campos de introdução de parâmetros IFC no painel

Com a análise da Figura 3.21 é possível observar que a macro Excel, permite gerar painéis IFC com duas aberturas, sendo que para cada uma delas são necessários os seguintes dados: localização ou ponto de iniciação das aberturas a serem introduzidos no plano geométrico xOz e as suas dimensões, sendo possível parametrizar duas configurações de painéis.

Um painel com vãos para janela e porta ou um painel com vãos para duas janelas sendo ainda apresentada a seção do painel, onde são definidas das dimensões da altura e espessura de cada camada, a estrutura da macro IFC possibilita ainda a inclusão de estruturas para a definição de janelas e portas através de algumas alterações pontuais de codificação, no entanto, neste momento o painel IFC gerado é apenas representado com vãos livres, sendo posteriormente adicionados em ambiente ArchiCAD o tipo de janela ou porta pretendida. Na Figura 3.22 é apresentado um painel IFC importado em ArchiCAD já com a adição dos objetos de janela, não apresentando as mesmas limitações encontradas na utilização dos painéis verticais em GDL.

As propriedades IFC armazenadas em cada camada permitem a parametrização dos elementos, quanto às quantidades de volume, resistência estrutural, classes de resistência ao fogo e desempenho sonoro.

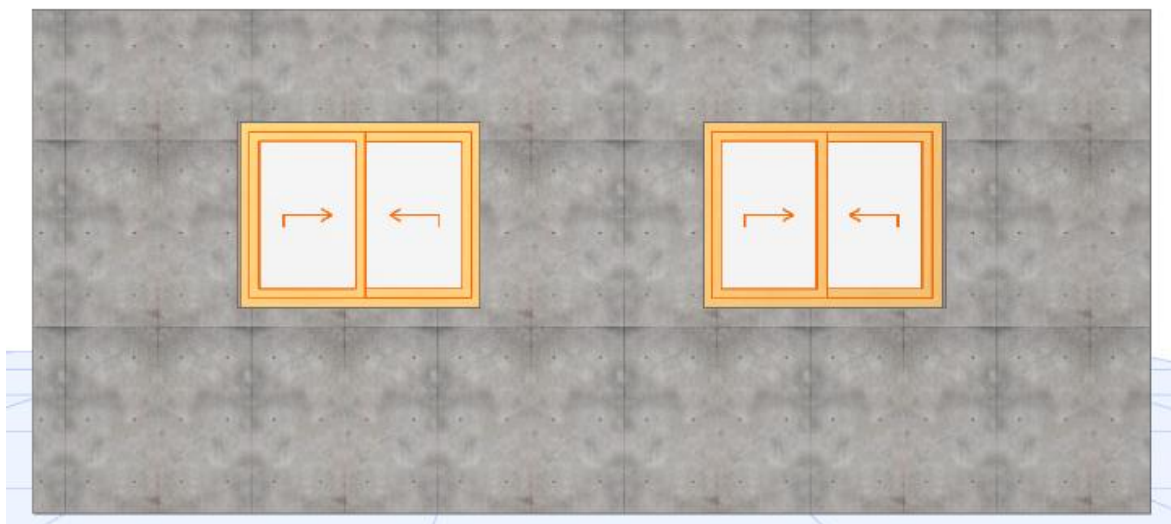


Figura 50 - PaineI IFC importado em ArchiCAD, com posterior adição de janelas aos vãos definidos na macro IFC

3.5 Construção do modelo BIM de Arquitetura

Terminada a modelação dos painéis sandwich, a utilização da macro Excel permitirá a criação de painéis IFC a importar no BIM de Arquitetura, cujo resultado final é apresentado na Figura 3.23. Dada a versatilidade de utilização das ferramentas de modelação ArchiCAD, a conceção dos elementos de piso, cobertura e vigas de fundação foram desenvolvidos por introdução direta na aplicação, sem o apoio de ferramentas de parametrização, permitindo um ajuste personalizado de cada ligação entre os elementos, visualizável em ambiente 3D, como o da Figura 3.24. No que se refere aos elementos de revestimento, foi considerado que os painéis em contacto com o ambiente exterior possuem um acabamento em tinta branca, sendo que o interior da habitação, por uma questão de conforto visual, os painéis são revestidos com uma placa de 1cm de espessura em gesso cartonado. Na Figura 3.25 é apresentado o modelo de arquitetura terminado.

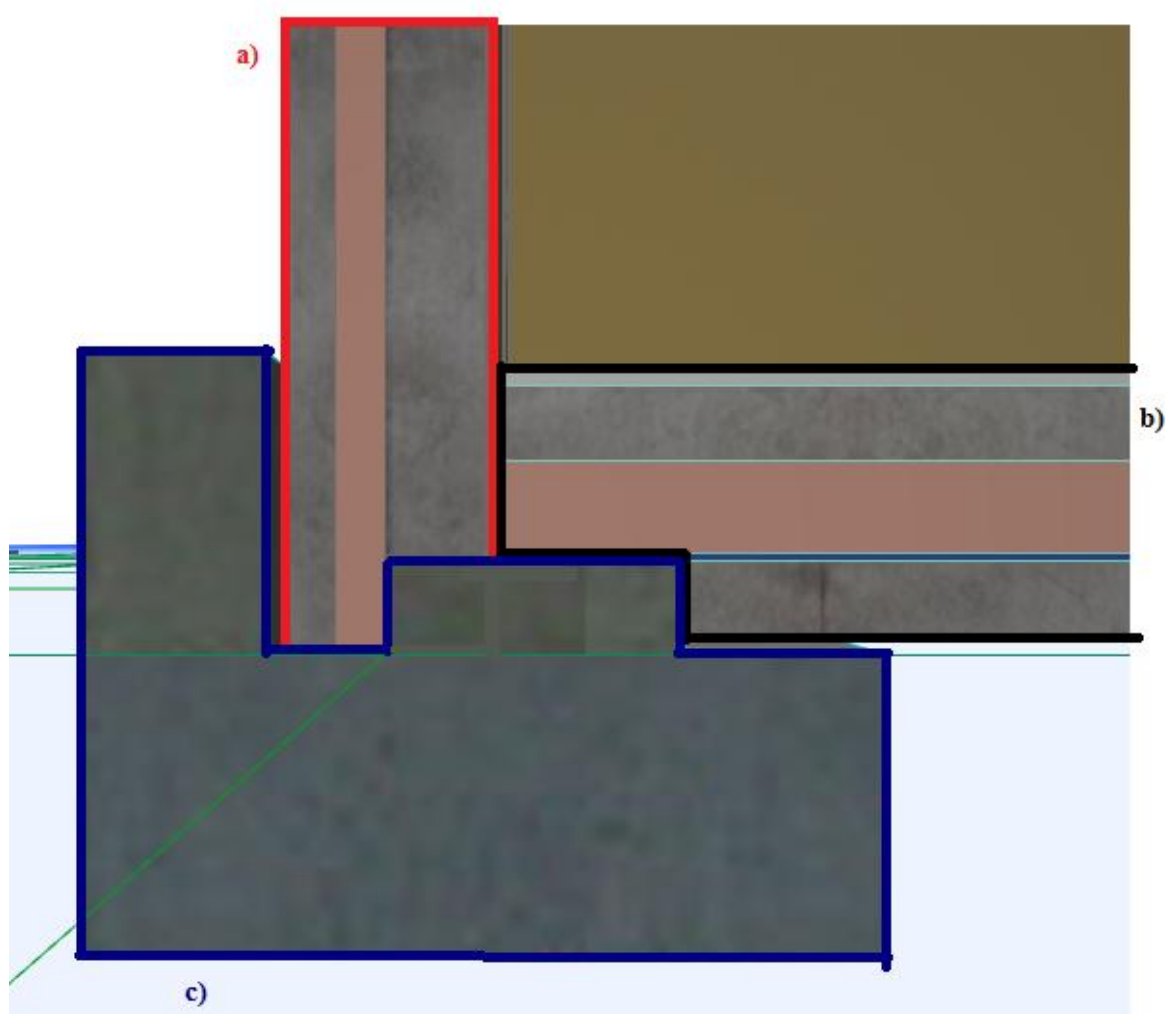


Figura 51 - Pormenor de Ligação 3D entre: a) vigas de fundação; b) painéis de piso e c) Painéis Sandwich importados em IFC

A utilização de BIM permite um acompanhamento virtual de todos os passos construtivos do modelo, a parametrização geométrica e a introdução de informações específicas para cada elemento. A utilização simultânea da representação 2D e 3D permite compatibilizar os elementos e sintetizar os diversos desenhos de projeto, evitando a duplicação de desenhos e erros de compatibilização. O fato de haver um ficheiro único de partilha para diferentes aplicações permite explorar o intercâmbio entre objetos e elementos desenvolvidos por aplicações de origem, usados em aplicações de destino diferentes, ou seja, ser possível desenvolver um elemento construtivo em ArchiCAD para ser posteriormente usado na aplicação Autodesk® Revit Architecture.

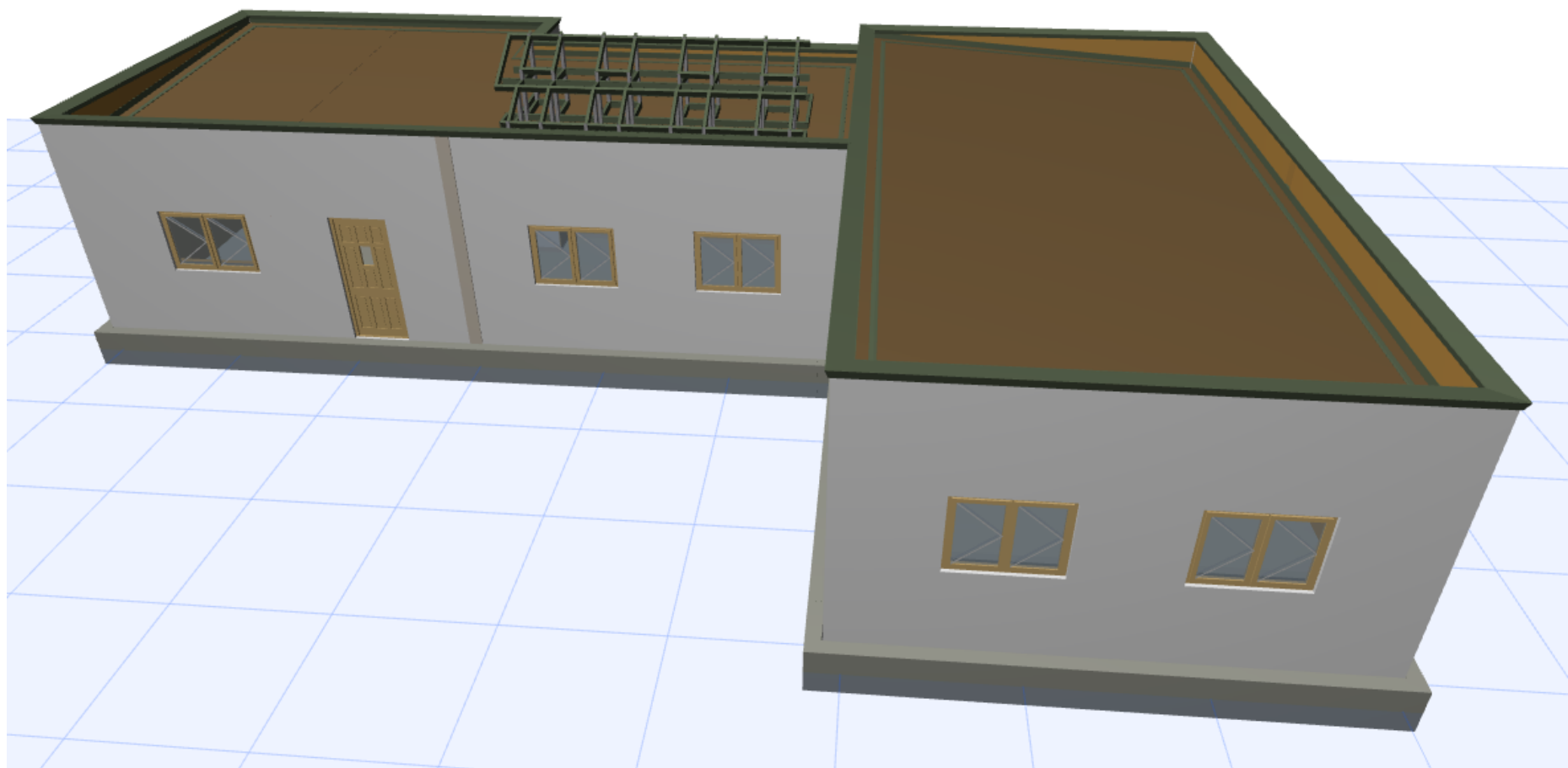


Figura 52 - Modelo de Arquitetura pronto para exportação em IFC

4. INTEROPERABILIDADE ENTRE APLICAÇÕES

Neste capítulo, é pretendido aferir o nível de desenvolvimento da interoperabilidade entre aplicações preparadas para o conceito BIM. Será usado o modelo de arquitetura produzido no capítulo anterior, como base para a interligação com as aplicações para a análise térmica dos edifícios e análise/dimensionamento das redes de hidráulica de abastecimento e drenagem de águas residuais.

Atualmente uma das aplicações BIM mais usadas a nível internacional para o desenvolvimento de projetos de hidráulica, é a aplicação Autodesk Revit MEP. No entanto os procedimentos de cálculo usados na aplicação Revit são baseados na aplicação do International Plumbing Code - IPC de 2006, o que pode dificultar a sua utilização no mercado Português, dado que as metodologias de dimensionamento são preconizadas pela aplicação do Decreto-lei nº23/95 Regulamento Geral dos Sistemas Públicos e Prediais de Distribuição de Água e Drenagem de Águas Residuais.

4.1 ArchiCAD e Autodesk® Revit MEP

A aplicação Revit MEP, possibilita a coordenação e conceção dos diferentes componentes mecânicos, hidráulicos e elétricos que constituem um projeto de construção. No entanto, como já explicado anteriormente, será apenas pretendida interação entre a arquitetura e a especialidade de hidráulica, sendo aplicada a metodologia de trabalho apresentada na Figura 4.1, iniciada com a importação do ficheiro IFC para a aplicação Revit, havendo a possibilidade do traçado e dimensionamento das redes hidráulicas serem executadas automaticamente pelo programa, no que se refere à coordenação, esta pode ser realizada em ambiente Revit ou ArchiCAD.



Figura 53 - Fluxo de Trabalho entre ArchiCAD e Revit MEP

A conversão do ficheiro ArchiCAD para IFC foi realizada com o apoio do tradutor especializado de IFC desenvolvido pela Graphisoft, que possui mecanismos semelhantes para diferentes aplicações BIM. Na fase terminal do modelo de arquitetura desenvolvido no capítulo anterior são colocados os equipamentos hidráulicos, aqui apresentados na Figura 4.2.



Figura 54 - Representação 3D das localizações dos equipamentos hidráulicos a transportar para Revit

Ao efetuar a importação do modelo IFC gerado para a aplicação Revit, foi detetado que os equipamentos hidráulicos ArchiCAD foram convertidos para objetos genéricos, impossibilitando a interação dinâmica entre os componentes hidráulicos a realização dos traçados. Além disso, a importação do modelo IFC decorreu com erros de interpretação geométrica, apresentados na Figura 4.3, nomeadamente a deslocalização aberturas, a duplicação de fronteiras de elementos e ainda falhas na importação da geometria das janelas. As situações retratadas podem ser apenas exclusivas da interação com este modelo de arquitetura, podendo não corresponder a problemas genéricos de importação verificados na utilização em casos reais. Sendo pretendido que a interoperabilidade entre as aplicações através de IFC ocorra de forma adequada, é importante que seja completamente eliminada a possibilidade de ocorrência de erros de importação. Antevê-se portanto a necessidade de maiores desenvolvimento de ligação ao formato IFC por parte das várias empresas que desenvolvem as aplicações informáticas BIM.

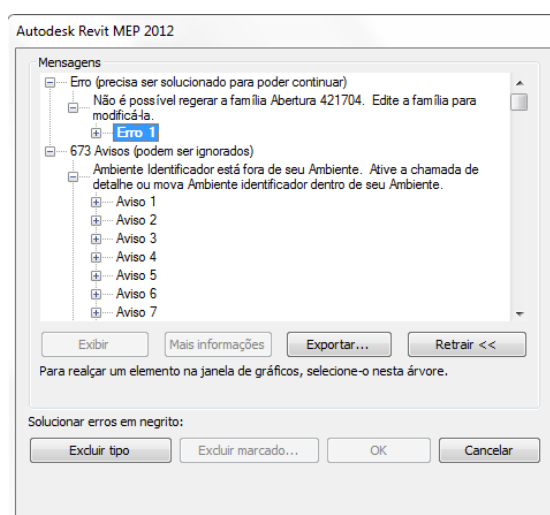


Figura 55 – Alerta para incoerências na importação IFC em Revit

A solução proposta para a resolução dos erros de importação IFC consiste na permissão das correções e alterações propostas pela aplicação Revit e pela exclusão dos elementos afetados na importação. Quanto aos equipamentos hidráulicos, que não puderam ser adequadamente importados foram substituídos por elementos de famílias Revit, que são elementos paramétricos, armazenados em bibliotecas específicas da aplicação Revit, e adaptados às diferentes necessidades do projeto, nomeadamente definição dos valores

mínimos de caudal de abastecimento e descarga dos equipamentos hidráulicos, conforme exemplificado na Figura 4.4.

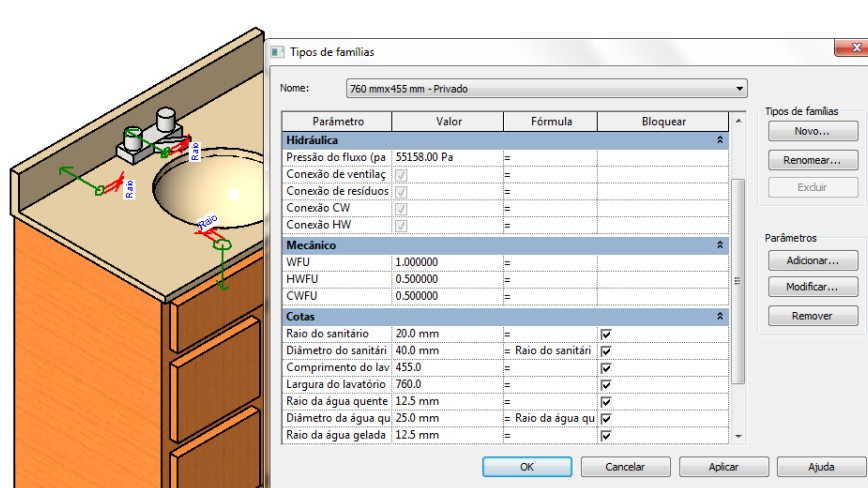


Figura 56 - Exemplo de equipamento da família Revit para edição

O resultado da importação do ficheiro IFC para REVIT é apresentado na figura 4.5, no entanto os paineis de cobertura foram modificados para acomodarem a colocação dos coletores solares de produção de água quente.

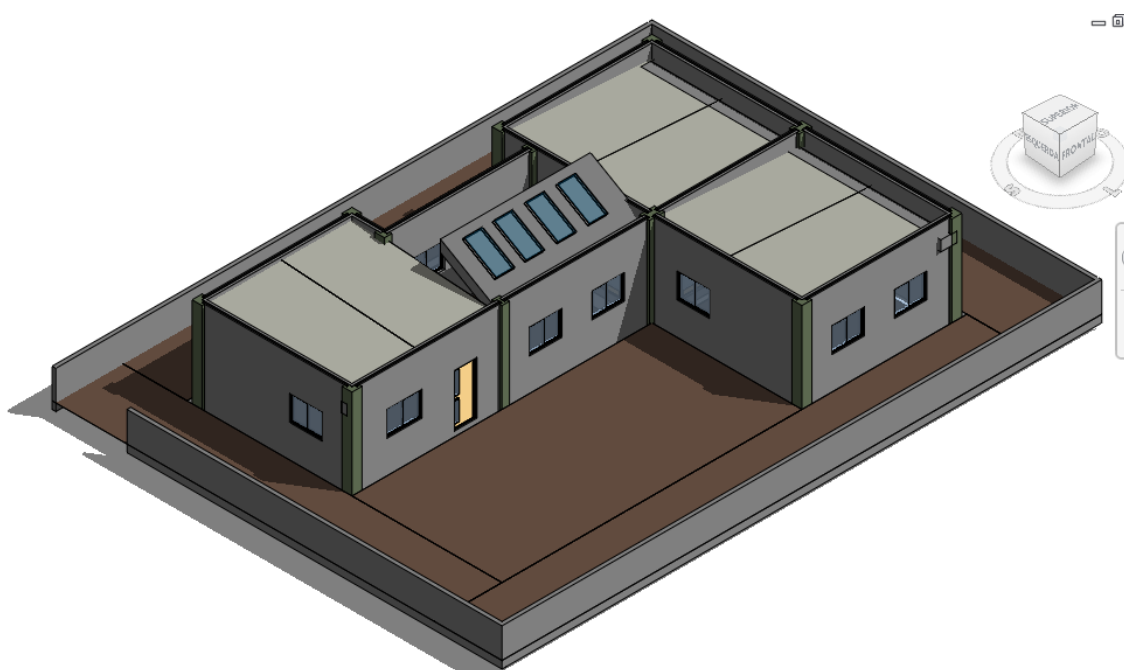


Figura 57 - Modelo IFC importado em Revit

4.1.1 Traçado e Coordenação dos Sistemas Hidráulicos

Como o Decreto-lei é extenso e aplicável não apenas às redes prediais como também às redes públicas, não será do interesse para a transmissão de conhecimento, a apresentação exaustivas das referidas normas. Sendo garantida a sua aplicação, o primeiro passo na utilização da aplicação Revit, corresponde à colocação dos novos equipamentos hidráulicos, importados das famílias Revit em substituição dos equipamentos ArchiCAD, apresentados na Figura 4.6.

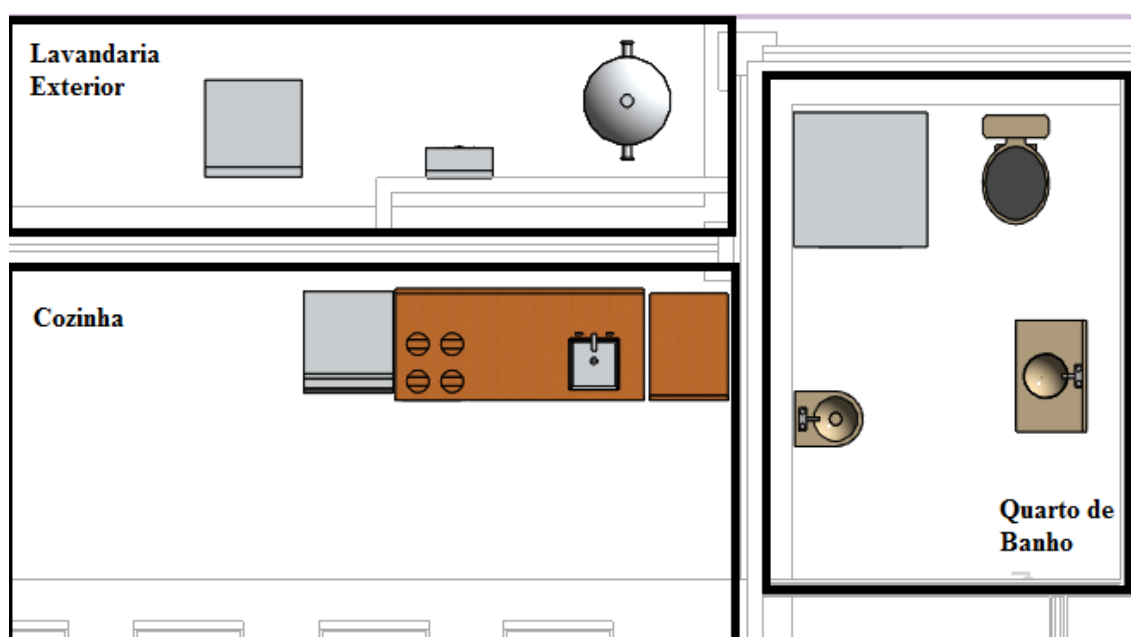


Figura 58 - Configuração da nova planta Revit

Com a nova configuração em planta, os passos seguintes consistem na elaboração dos sistemas e subsistemas hidráulicos, Figura 4.7, por exemplo, no sistema de abastecimento de água fria, os equipamentos são divididos em dois subsistemas, um subsistema para o quarto de banho (chuveiro, bidé, lavatório e bacia de retrete) e outro para o abastecimento à lavandaria e cozinha, é importante também neste ponto, especificar que todos os traçados serão realizados com a tubagem à vista nos painéis sandwich, sendo embutidos nas paredes

divisórias do WC, potenciando a diminuição de custos de instalação, sendo utilizado os materiais: aço inox e Policloreto de Vinil – PVC, para as tubagens.

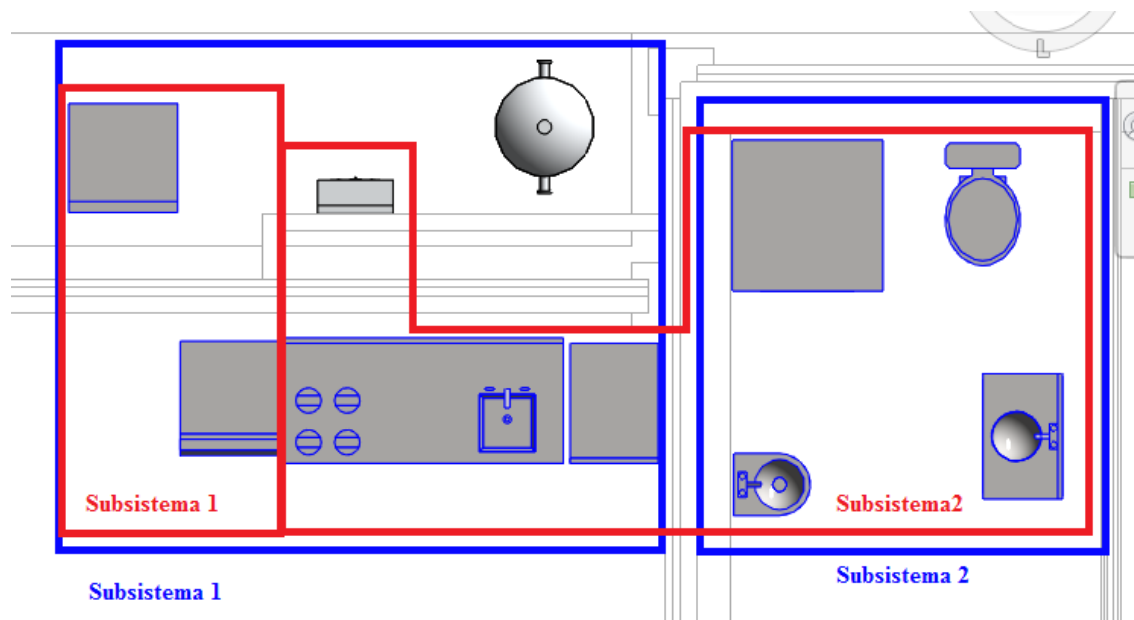


Figura 59 - Esquemática dos subsistemas de abastecimento de água

A caracterização de diferentes subsistemas, incluindo os sistemas de recolha de águas residuais, permite que os traçados possam ser gerados automaticamente entre os aparelhos hidráulicos definidos por cada um, a interação entre as posições de cada equipamento hidráulico permite que a aplicação proceda à avaliação das diferentes possibilidades de traçado e apresente um conjunto de rotas predefinidas, como a apresentada na Figura 4.8 que será automaticamente dimensionado de acordo com os caudais aplicados aos equipamentos do sistema.

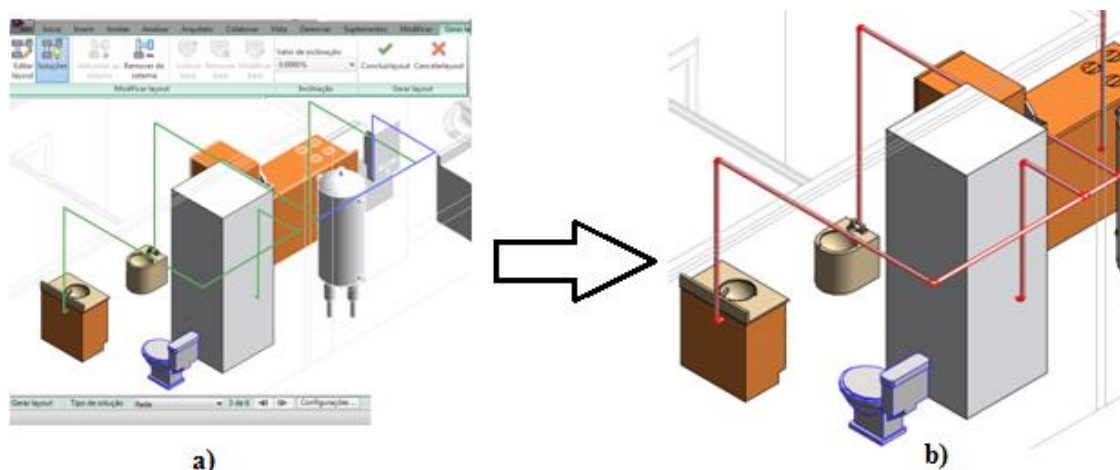


Figura 60 - Exemplo de traçado do sistema: a) traçado automático proposto; b) correspondente resultado final

A utilização de rotas de traçado automático permite a poupança significativa de tempo de execução de projeto uma vez que em simultâneo é realizado o dimensionamento da tubagem, de acordo como os caudais estipulados para os equipamentos hidráulicos, sendo que numa fase posterior, as tubagens podem ser ajustadas de acordo com as inclinações pretendidas. Apesar da automatização dos traçados, nem sempre as soluções propostas significam traçados exequíveis, em vários casos, durante a execução deste projeto as soluções propostas inicialmente não eram possíveis de executar como a verificada na Figura 4.9, pelo que a vantagem inicial da diminuição do tempo de execução, desvanece-se com a necessidade de corrigir os erros pontuais.

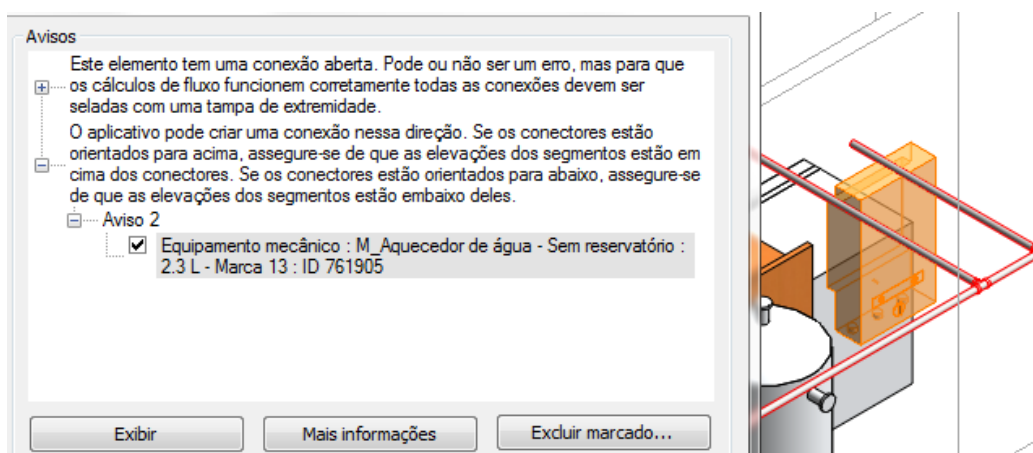


Figura 61 – Aviso sobre impossibilidade de execução da rota pretendida

Após necessárias correções a diferentes pontos do traçado, o resultado final para a rede de abastecimento é apresentado na Figura 4.10 onde é possível verificar que para cada equipamento, esta colocada uma válvula de seccionamento, sendo também colocadas no início de cada divisão, seccionando o sistema principal de abastecimento.

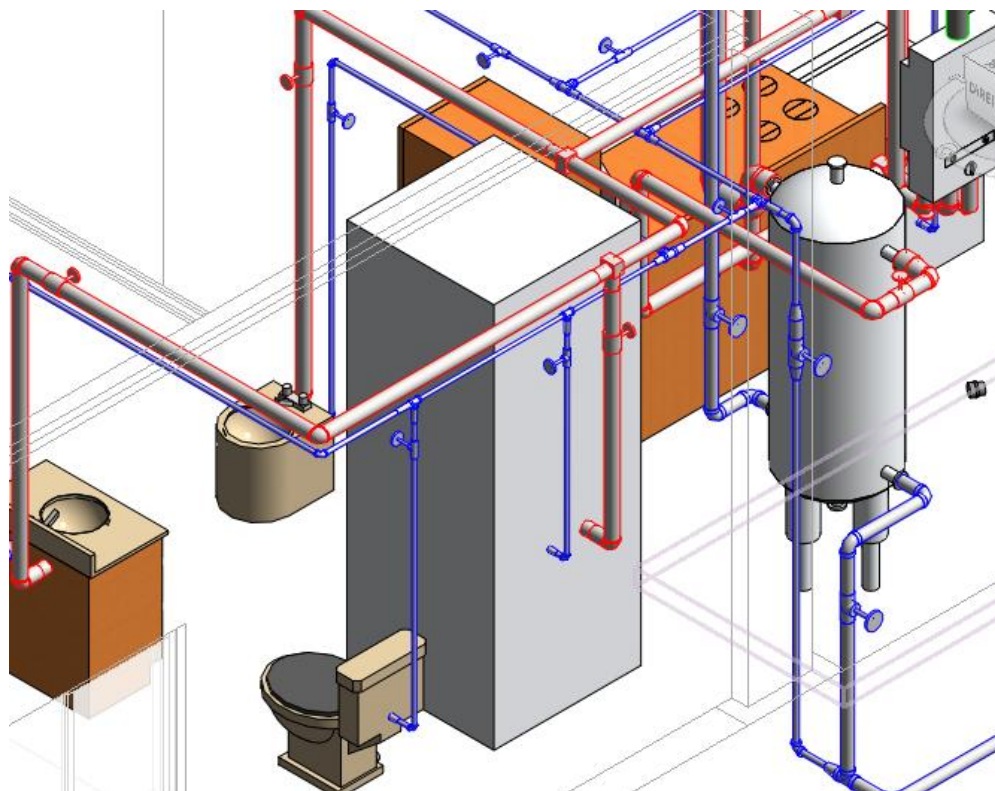


Figura 62 - Traçado das redes de abastecimento de água quente e água fria

O percurso do sistema de abastecimento, não é apenas relativo ao traçado dos diferentes subsistemas interiores da habitação sendo também obrigatório o dimensionamento, do ramal desde a instalação da rede pública até ao interior da habitação, sendo também exemplificado o traçado do fluido de aquecimento dos painéis solares, apresentado na figura 4.11.

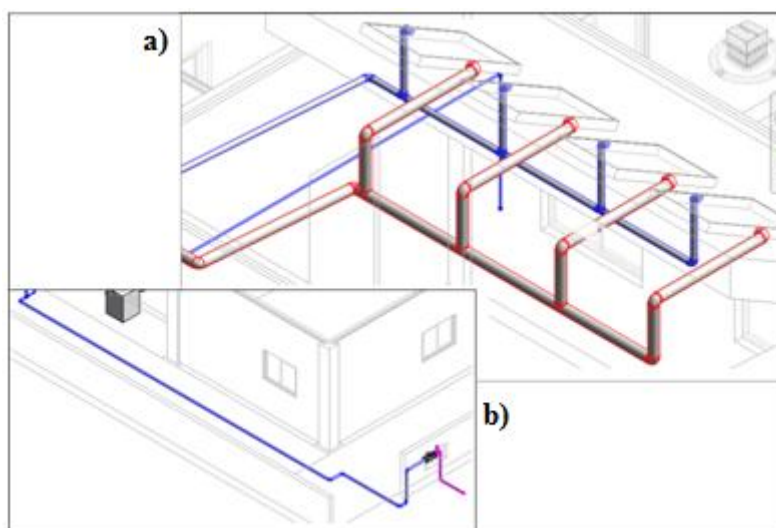


Figura 63 - a) Traçado do circuito de alimentação dos painéis; b) Traçado do abastecimento de água

Terminada a representação do traçado de abastecimento de águas será realizado o sistema de recolha de águas residuais e pluviais, sendo que uma das primeiras limitações é imposta pelos limites de inclinação permitidos: mínimo de 1% e máximo de 4%, sendo verificado o seu cumprimento na Figura 4.12 e 4.13.

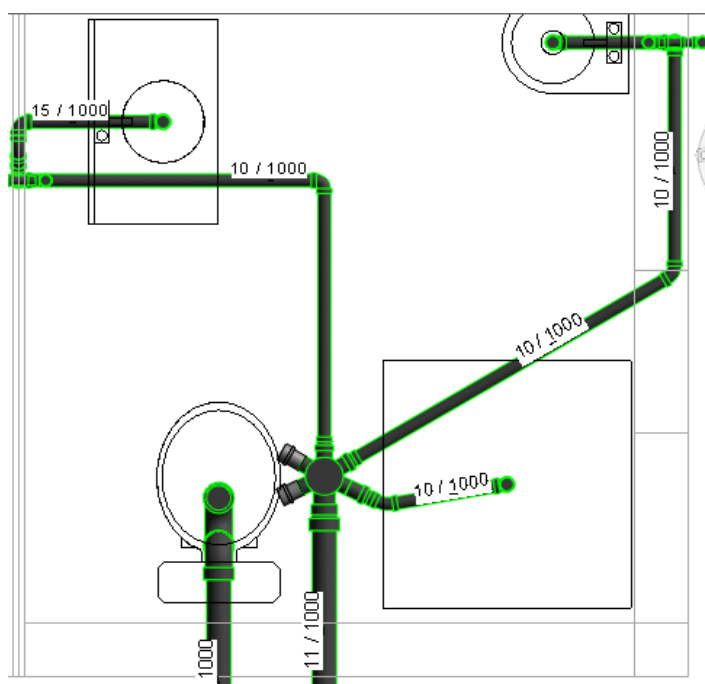


Figura 64 - Traçado da recolha de águas residuais do quarto de banho

Na figura 4.12 pode verificar-se a separação entre as descargas de água, produzidas pela bacia de retrete, e as águas saponáceas, produzidas pelo chuveiro, bidé e lavatório, a sifonagem destes equipamentos é realizada apenas na caixa de reunião, não havendo a dupla sifonagem do sistema, com uma colocação indevida de sifões em cada ramal individual de descarga. A junção das águas negras e saponáceas é realizada por meio de caixas de visita situadas no coletor enterrado no exterior da habitação.

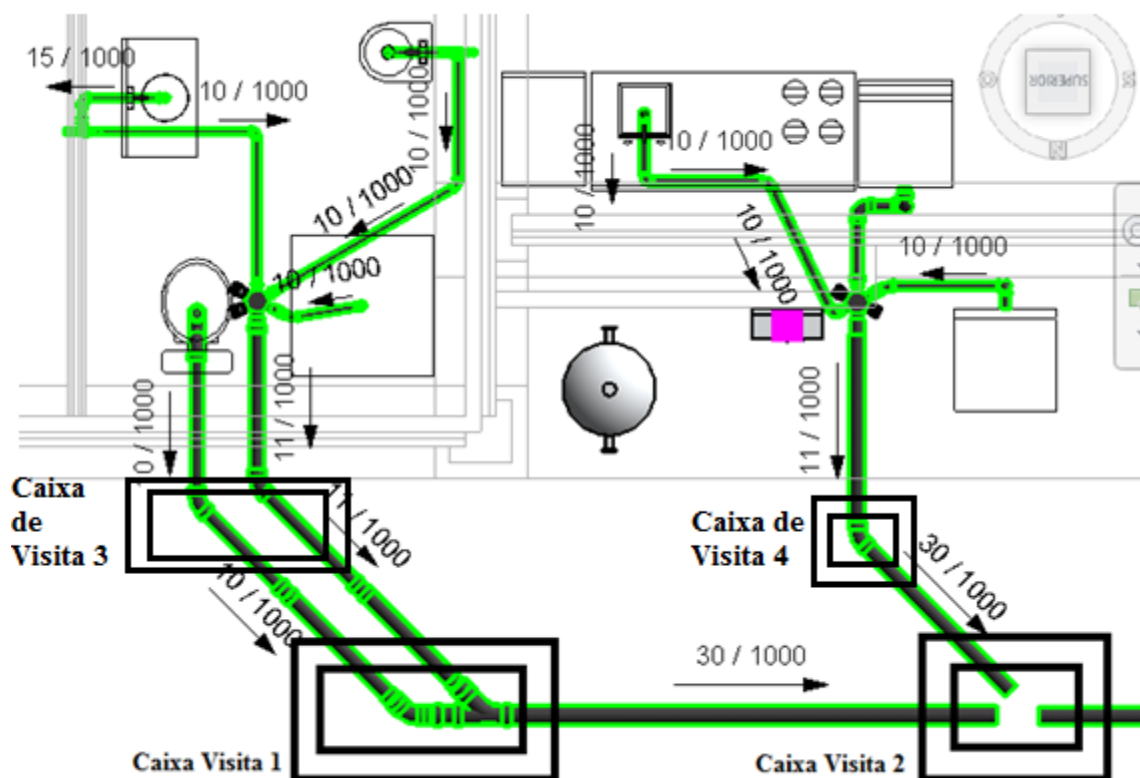


Figura 65 - Traçado da rede de águas residuais

Após as primeiras soluções alcançadas para o traçado do sistema, é importante perceber e verificar a coordenação do modelo MEP com outros elementos do projeto, por exemplo, elementos arquitetónicos ou estruturais, através de uma análise visual à interação entre os modelos e da utilização de ferramentas de inspeção de sistemas e à verificação de desconexões, disponíveis na aplicação Revit.

Os processos de análise visual consistem numa uma verificação e inspeção visual de diversos pontos de desenvolvimento do traçado, que estão condicionados pela aplicação do

artigo 96º referente ao abastecimento de águas, bem como as especificações definidas para o traçado das águas residuais. Assim segundo o artigo 96º, os sistemas de abastecimento não podem ser desenvolvidos:

- Sob elementos de fundação;
- Embutidos em elementos estruturais;
- Embutidos em Pavimentos, exceto quando flexíveis e embainhadas;
- Em locais de difícil acesso ou elementos de fundação;
- Em espaços pertencentes a chaminés e sistemas de ventilação.

A execução de tubagem à vista sobre os painéis sandwich permite o cumprimento do artigo 96º na sua quase totalidade, no entanto, existem os casos de embutimento ou atravessamento dos elementos estruturais e de fundação. Com a alteração da visualização do ambiente Revit para a vista de “coordenação”, são rapidamente detetadas infrações ao regulamento.

Na rede de águas residuais, assinala-se que o ramal de descarga da bacia de retrete e o ramal não individual atravessam o elemento de fundação do painel, sendo a mesma situação repetida com o ramal proveniente da lavandaria, que atravessa o painel de piso – ver Figura 4.14.

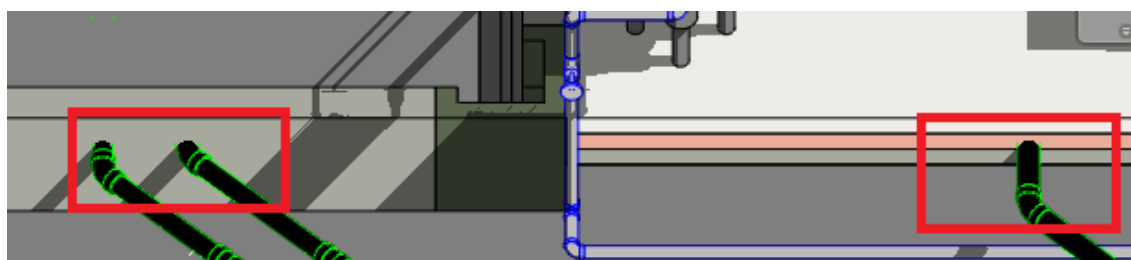


Figura 66 - Detecção do atravessamento de elementos de fundação (à esquerda) e do elemento de piso (à direita)

A solução para o atravessamento dos elementos de fundação, é resolvida com execução de aberturas específicas nos moldes de prefabricação das vigas, permitindo a realização de um atravessamento sem contacto com a tubagem. Por sua vez, a solução para o atravessamento do painel de piso na lavandaria, é rapidamente ajustada com o rebaixamento da cota do

ramal., ficando suspenso por baixo do painel de piso. No caso dos sistemas de abastecimento, são detetadas secções de tubagem que ficam parcialmente embutidas nos elementos de parede, para além dos diversos atravessamentos, apresentados na Figura 4.15. Dado que os painéis sandwich possuem função estrutural, os atravessamentos da tubagem precisam de ser embainhados, impedindo o contacto físico entre os elementos do painel com a tubagem.

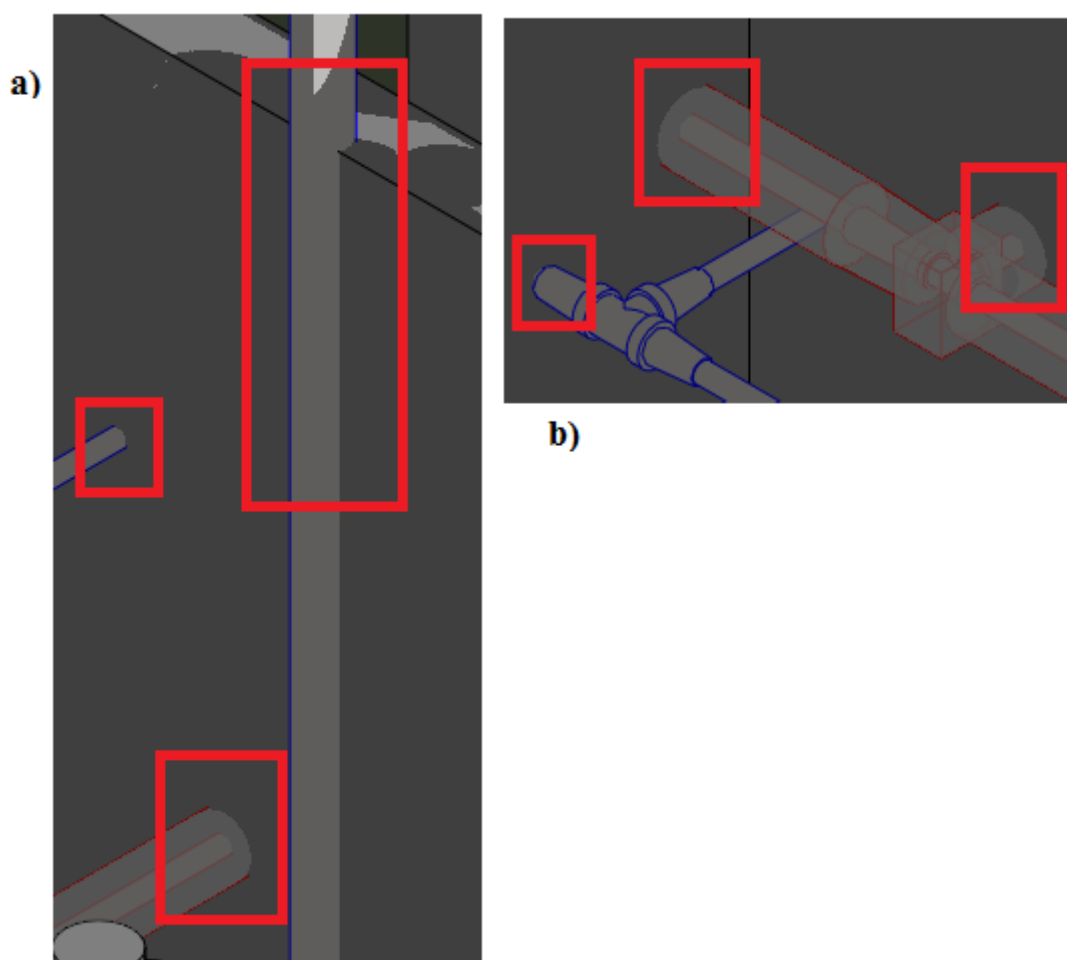


Figura 67 – a) e b) Exemplos de painéis sandwich atravessados transversalmente por tubagem de abastecimento de água;

O inspetor do sistema, permite visualizar as informações sobre o fluxo que circula na secção em análise e qual a sua direção a partir o equipamento produtor ou início do sistema. A ferramenta de análise de desconexões permite verificar quais os pontos do sistema em que as tubagens não estão conectadas aos respetivos equipamentos ou a outros sistemas.

Na aplicação Revit, a direção do fluxo é determinada pela ordem de colocação da tubagem, ou seja, o ponto de início de uma tubagem define a direção da circulação da água, sendo necessária uma atenção redobrada quando as redes são desenvolvidas manualmente. Na Figura 4.16 é apresentado um aviso de impossibilidade de dimensionamento por conflito de direções de circulação de água.

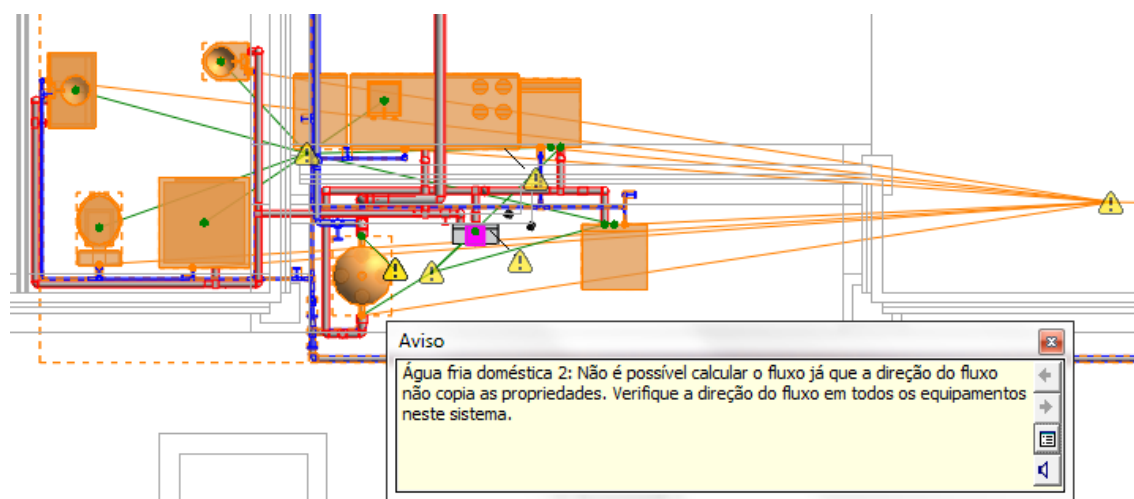


Figura 68 - Mensagem de erro sobre as propriedades e direção do fluxo

Dado que o tempo de aprendizagem necessário para a utilização completa da aplicação Revit MEP ser de curta duração e atendendo aos objetivos pretendidos para a presente dissertação, o dimensionamento das redes de abastecimento e drenagem de águas será realizado manualmente, sendo apresentados no Anexo III-1. No entanto, a Figura 4.17 permite demonstrar as capacidades de dimensionamento automático das redes conjugado com o traçado entre os equipamentos.

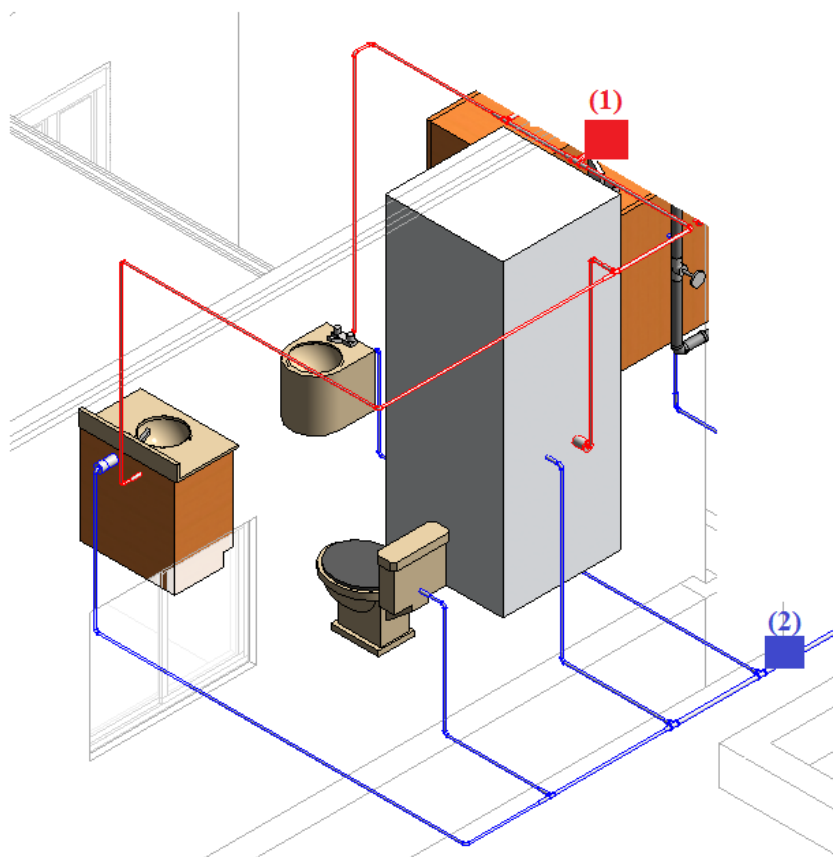


Figura 69 - Traçado automático adotado para o WC

Na utilização do traçado automático, os trechos de tubagem criados são divididos automaticamente em trechos principais e secundários desde o equipamento produtor adotado até aos equipamentos hidráulicos, como demonstrado na Figura 4.20, o sistema distribuição de água fria (2) é composto por um trecho principal, iniciado no ponto de entrada do edifício até à derivação de caudal entre o lavatório e a bacia de retrete, sendo que os equipamentos são conectados a partir de derivações perpendiculares ao traçado principal. O procedimento adotado no dimensionamento manual estimula que cada divisão interna da fração é abastecida por um único ponto de entrada, do qual são derivados os caudais adotados para os diferentes equipamentos hidráulicos, este processo permite criar subsistemas para cada divisão a abastecer, sendo que o segmento de tubagem principal estará compreendido entre o contador da habitação e o ultimo ponto de derivação para o subsistema. Na Figura 4.21 está representada o subsistema criado para o WC, onde é possível identificar os pontos de entrada para as redes de água quente (1) e água fria (2), sendo também observado o traçado paralelo entre as tubagens.

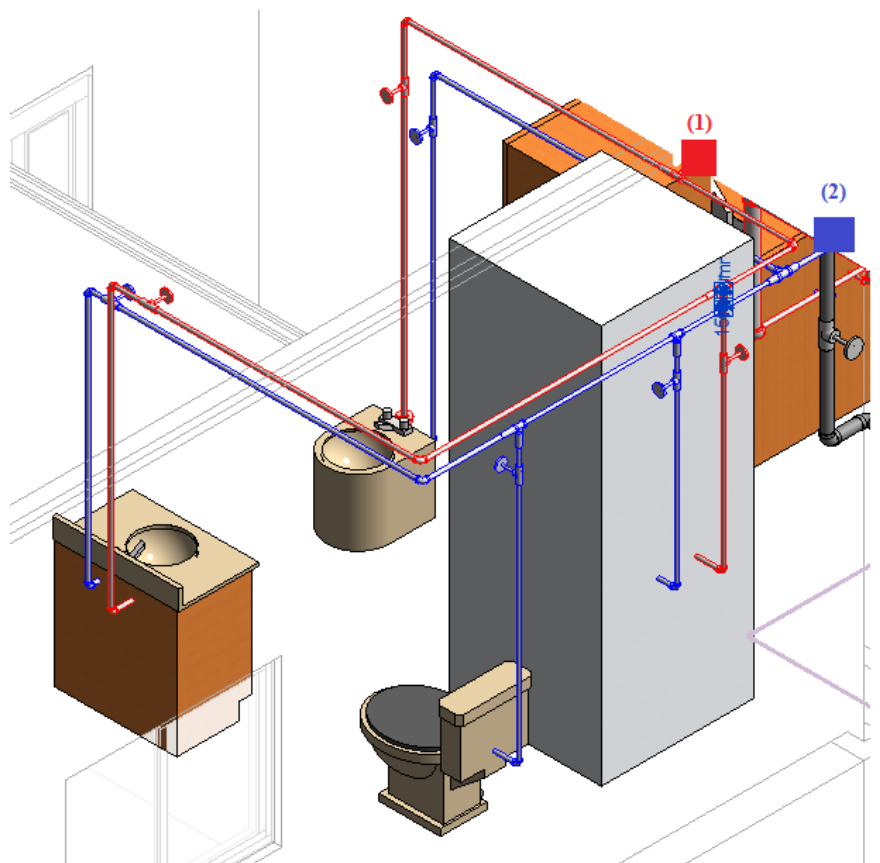


Figura 70 - Traçado manual adotado para o WC

A utilização de caudais semelhantes nos dois exemplos permitirá que o dimensionamento das tubagens obtido seja semelhante. A título exemplificativo, no Quadro 9 são apresentados os valores de velocidade adotada e velocidade dimensionada, bem como os respectivos diâmetros comerciais recomendados para o traçado da rede de água quente no WC, verificando-se que os valores obtidos são próximos em ambos cumprindo as exigências regulamentares de velocidade de circulação, estabelecidas pelo regulamento Português. Na Figura 4.19 são apresentadas as redes adotadas para o sistema de abastecimento e recolha de águas residuais em toda a sua extensão, calculadas através do método tradicional apresentado no Anexo III-1.

Quadro 9 - Quadro comparativo de dimensionamento automático e Manual para a rede de Água Quente no WC

Traçado Água Quente Manual					Traçado Água Quente Automático			
Traçado Manual	Caudal Acumulado (l/s)	Velocidade Arbitrada (m/s)	Velocidade Calculada (m/s)	Diâmetro Comercial adotado (mm)	Traçado Automático	Velocidade Adotada (m/s)	Velocidade Calculada (m/s)	Diâmetro Comercial adotado (mm)
(1) – Bidé	0.10	1.2	0.949	15	(1) – P_cozinha	1.3	1.17	15
(1) – P_1	0.25	1.2	1.055	18	P_cozinha – Bidé	1.3	1.01	8
P_1 - chuveiro	0.15	1.2	1.169	15	(1) – P_1	1.3	1.18	12
P_1 - Lavatório	0.10	1.2	0.949	15	P_1 – Chuveiro	1.3	0.89	10
					P_1 – Lavatório	1.3	1.01	8

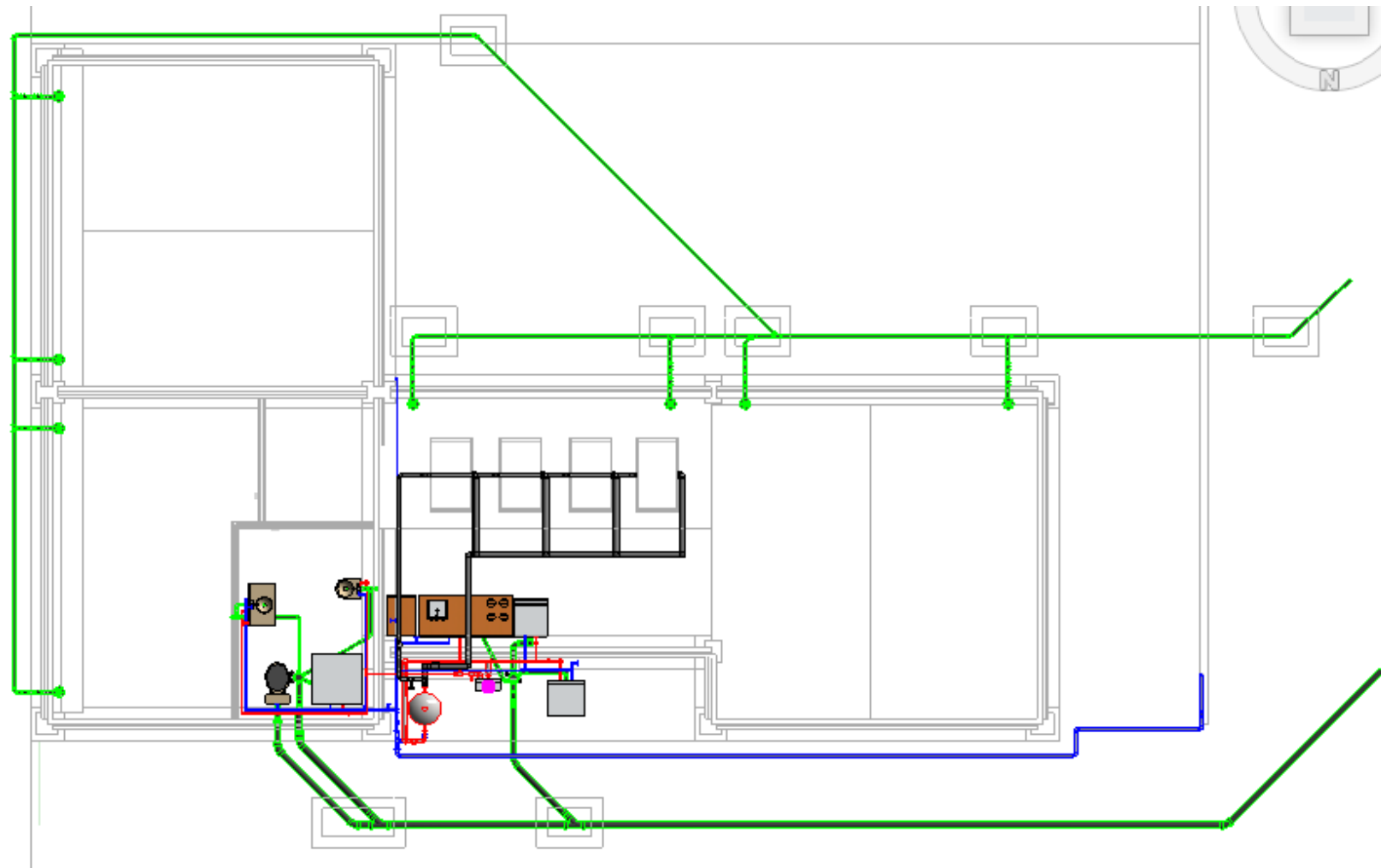


Figura 71 - Representação em Planta das Redes de Abastecimento de água e Residuais

Concluídas as etapas de dimensionamento as redes de abastecimento adotadas são da foram exportadas em ficheiro IFC, para a verificação da conversão, sendo o ficheiro gerado, visualizado na aplicação Solibri Model Viewer, apresentado na Figura 4.20. O procedimento de visualização permitiu descobrir que a rede exportada apresentava uma falha na escrita do ficheiro, resultante da conversão dos valores mínimos dos objetos de tubagem em IFC, sendo um erro específico deste projeto em questão, apos a correção, é importado para a aplicação ArchiCAD e adicionado ao modelo de arquitetura Figura 4.21.

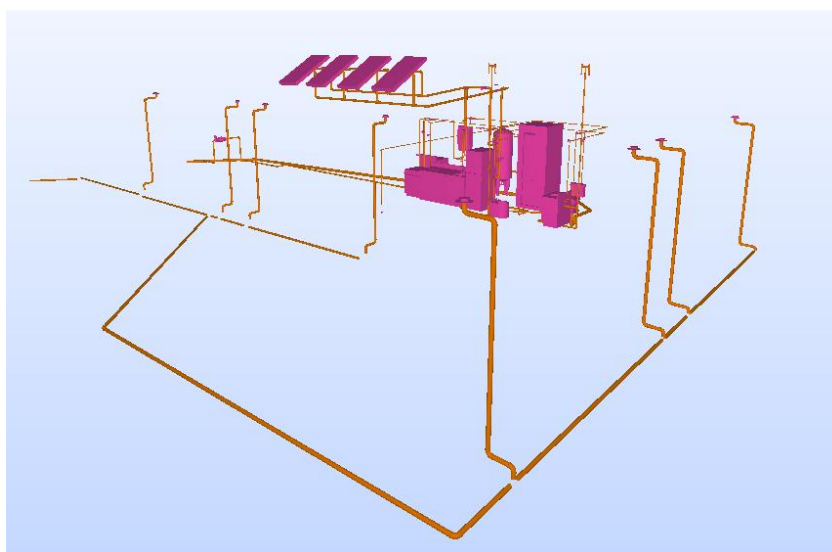


Figura 72 - Modelo MEP exportado, Solibri Model View

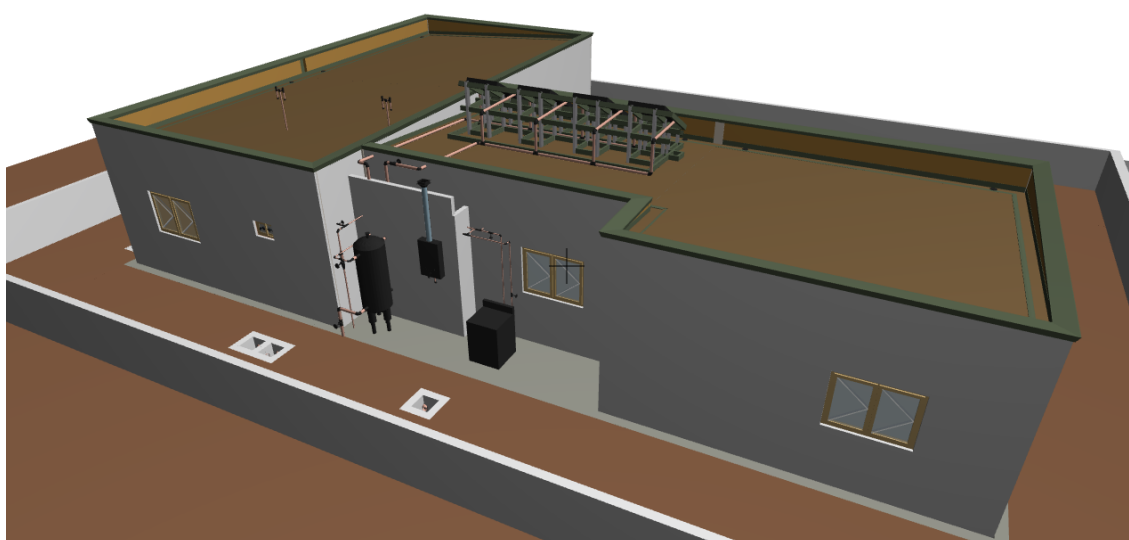


Figura 73 - Modelo ArchiCAD com a rede hidráulica

4.2 ArchiCAD e as Aplicações de Análise Térmica

Uma vez concluídos os projetos de hidráulica, procede-se a nova exportação do modelo em IFC para a análise de desempenho térmico, das aplicações existentes no mercado possíveis de serem utilizadas no âmbito da presente dissertação foram adotadas as aplicações Ecotect e EnergyPlus.

Dadas as conclusões obtidas em 2008 [44], será esperado que as versões atuais (Autodesk® Ecotect Analysis e o EnergyPlus v7-1), pudessem ser compatíveis com as aplicações BIM disponíveis no mercado, através do melhoramento da capacidade de importação de modelos em IFC, no entanto, a versão atual do EnergyPlus ainda não suporta a introdução de modelos geométricos em IFC e a versão do Ecotect, ainda se encontra em desenvolvimento. Pelo que se pode concluir que as empresas de desenvolvimento de aplicações de análise térmica, ainda não estão sensibilizadas para o uso e de importação de ficheiros em BIM, sendo que esta situação levou ao desenvolvimento, das aplicações integradas de desempenho térmico, presentes nas aplicações BIM de Revit e ArchiCAD.

Estas ferramentas permitem realizar uma substituição relativa da necessidade de utilização de uma aplicação não vocacionada para BIM, através do uso integrado de ferramentas internas, que contrariam o princípio base da utilização de BIM, que é a interoperabilidade entre equipas de projeto e aplicações usadas pelas especialidades.

Apesar da ferramenta de importação IFC do Ecotect ainda estar em desenvolvimento, foi testada a capacidade atual de importação do ficheiro BIM gerado com ArchiCAD adicionado com os projetos de hidráulica. Na Figura 4.22 é apresentado o quadro de materiais detetados pela aplicação Ecotect e na Figura 4.23, o resultado da importação do modelo.

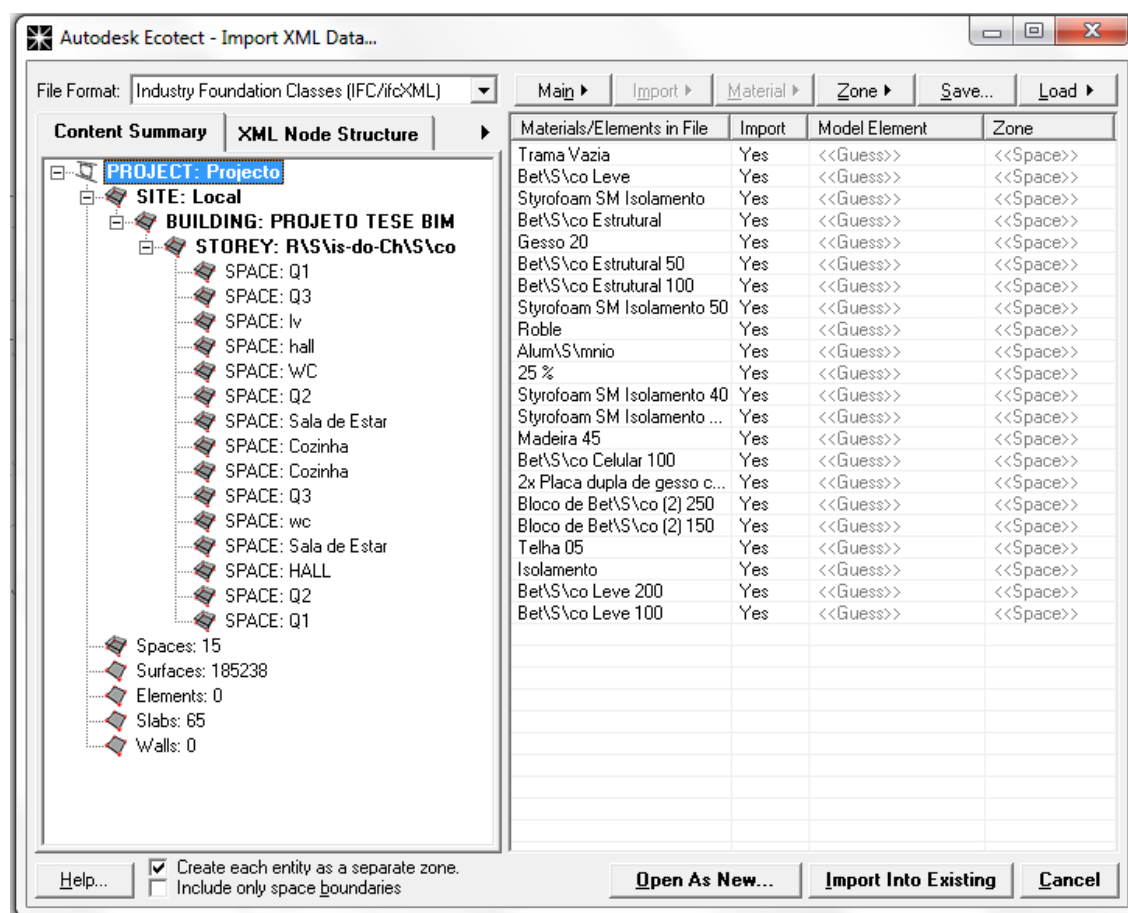


Figura 74 - Quadro de Identificação de Elementos IFC detetado pela aplicação Ecotect, Adaptado de Ecotect 2011

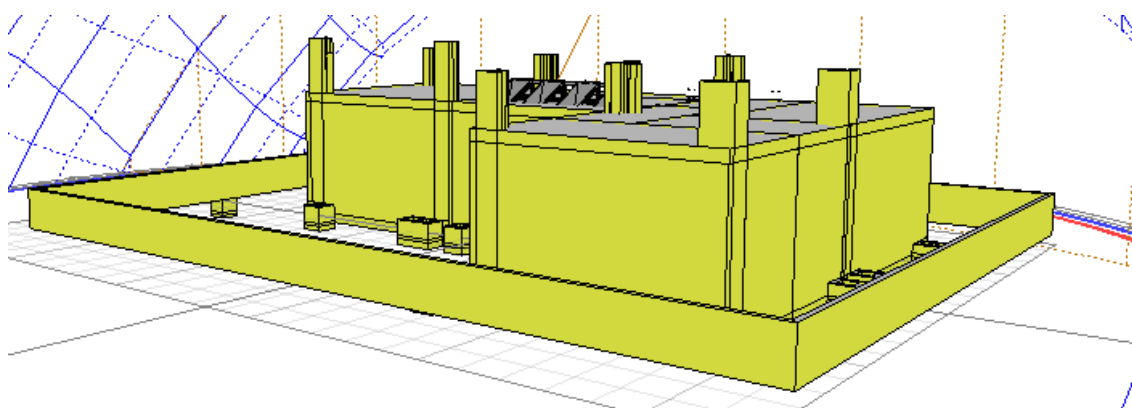


Figura 75 - Modelo IFC importado, Ecotect 2011

Da análise da Figura 4.22, é possível perceber que a aplicação é capaz de reconhecer e identificar as zonas definidas no projeto, bem como a contabilização dos respetivos elementos e materiais usados, no entanto, devido à complexidade do modelo importado, a geometria não é apresentada na sua posição correta, por exemplo, as vigas de fundação que

deveriam estar na horizontal, junto ao painel sandwich, encontram-se na vertical. Este tipo de dificuldades, seria espectável face aos resultados do relatório de 2008, onde concluíram que a fiabilidade de importação de ficheiros IFC seria muito baixa.

Apesar do resultado obtido com a importação do modelo desenvolvido, pretendeu-se a verificação dos resultados da importação de um modelo de arquitetura mais simples, para verificar se o resultado da importação IFC do modelo dependeria exclusivamente da complexidade do projeto, assim na Figura 4.24 é apresentado um modelo IFC simples, que apenas mantém a configuração em planta semelhante à adotada no projeto de arquitetura anterior.

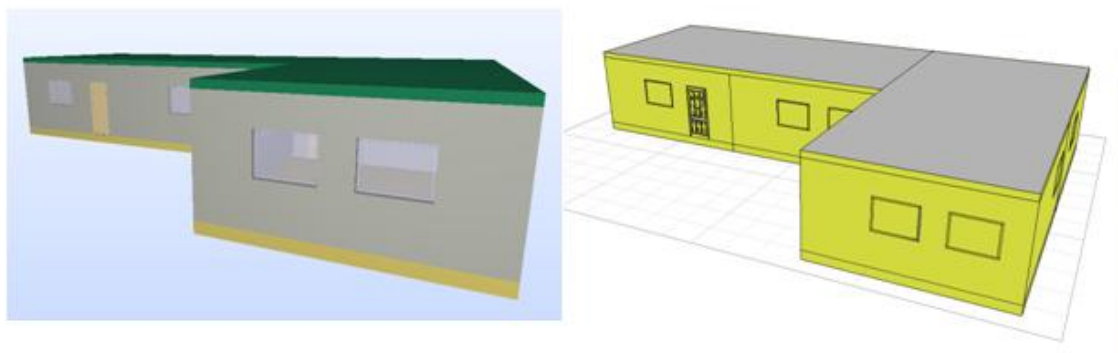


Figura 76 - Modelo IFC (à esquerda) e Modelo Ecotect resultante da importação (à direita)

Os resultados da nova importação do modelo permitem constatar que os problemas de importação não estão diretamente ligados à configuração geométrica do modelo, uma vez que na versão simplificada é possível perceber que as aberturas das janelas não estão corretamente representadas. Constata-se portanto a quase inviabilidade de utilização deste módulo de importação baseado em IFC da aplicação Ecotect. Dado o interesse na verificação do ponto de vista da interoperabilidade das aplicações, o desenvolvimento atual desencoraja a partilha de ficheiros IFC com as ferramentas de análise Térmica, sendo comprovado internacionalmente a capacidade de cálculo dos programas.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

5.1 Conclusões e Síntese dos resultados

Neste capítulo são apresentadas as conclusões adquiridas sobre o presente tema desenvolvido e quais as perspectivas de evolução futura que podem ser aplicáveis.

Durante a pesquisa bibliográfica foram evidenciadas empresas portuguesas, que apostaram no desenvolvimento de soluções prefabricadas em sistemas modulares permitindo uma adaptação ao novo contexto da realidade económica e social do país, através da conceção de um produto de construção vocacionado não apenas para o mercado interno como também para exportação.

A apresentação de BIM insere-se na evolução tecnológica na construção, com potencial para revolucionar o relacionamento entre as diversas entidades de projeto e construção, promovendo a integração e motivação para o trabalho em equipa e responsabilização mutua.

Durante o desenvolvimento do caso de estudo, são apresentadas soluções de geração automática de painéis sandwich em ambiente ArchiCAD (objetos paramétricos) com capacidade de introdução de meta-informação com a linguagem de programação GDL. Constatou-se no entanto, que esta linguagem de programação apresenta ainda limitações relevantes na criação de objetos complexos como o painel sandwich (com varias camadas de materiais, recortes, janelas e aberturas para portas). Em face das limitações observadas, e tendo em conta que o formato subjacente às aplicações BIM é o formato de ficheiros IFC, optou-se por tentar uma abordagem baseada na geração automática de painéis diretamente em IFC.

Esse conceito foi comprovado com a realização de um programa em Visual Basic For Applications (em ambiente Excel) que permite o desenvolvimento de painéis sandwich parametrizáveis que são integrados no desenvolvimento de um projeto modular construído com aplicação BIM de arquitetura, ArchiCAD, sendo possível abreviar o processo de introdução de dados. No contexto da construção Modular, o desenvolvimento de um caso de estudo com a utilização de painéis sandwich permitiu explorar a pormenorização localização espacial e controlo da informação dos diversos elementos construtivos que poderá ser uma importante mais-valia, no contexto de uma empresa que pretenda integrar BIM no planeamento e execução de novos projetos.

Na análise da interoperabilidade entre especialidades, pretendeu-se explorar a utilização do ficheiro de comunicação IFC como plataforma de comunicação entre as equipas de conceção de projeto e de especialidades. A importação de modelos IFC elaborados em ArchiCAD para a aplicação BIM Revit MEP pode ser considerada como satisfatória, sendo que os erros de conversão detetados podem ser apenas exclusivos do caso de estudo em questão. Salienta-se também a capacidade da aplicação Revit MEP ser capaz de realizar o traçado e calculo dos traçados de abastecimento de águas, permitindo a rápida conceção de projetos completos, cujos resultados podem ser novamente exportados e integrados no modelo base, para a deteção de conflitos ou incoerências de projeto, no entanto foram enfrentadas dificuldade de calculo, nomeadamente a preferência pelo desenvolvimento de um traçado customizado, face aos traçados automáticos propostos, que posteriormente dificultam o dimensionamento tubular dos traçados em questão, também o fato de que esta aplicação usar como principio base a regulamentação internacional, significa que os métodos de quantificação dos caudais de calculo a colocar nos equipamentos hidráulicos, terão de ser afetados externamente ao programa, dos coeficientes de simultaneidade previstos na regulamentação portuguesa.

No que diz respeito, à especialidade de térmica, as informações recolhidas durante a pesquisa bibliográfica, evidenciavam as dificuldades dos desenvolvedores das aplicações, de desenvolverem uma afinidade com a integração de BIM, nomeadamente através da utilização de importação e exportação de ficheiros compatíveis com as aplicações BIM,

sendo comprovado com a tentativa de importação do modelo BIM desenvolvido, para as aplicações Ecotect e EnergyPlus mais recentes no mercado.

A aplicação EnergyPlus ainda não sofreu qualquer alteração no seu desenvolvimento que permita a importação de IFC, já a aplicação Ecotect possui uma plataforma de integração ainda nas fases iniciais de desenvolvimento, que ainda possui problemas de fiabilidade, como comprovado pelas tentativas de importação de ficheiros IFC realizadas. O fato de que estes problemas de integração ainda existirem refletem o comportamento entre as empresas de desenvolvimento de aplicações e os utilizadores finais, sendo importante por parte do desenvolvedor, reconhecer a necessidade do seu produto, para estimular o seu continuo desenvolvimento e melhoramento, recolhendo também as informações transmitidas pelos diferentes utilizadores, que pelas suas diferentes experiencias em cada projeto único, podem detetar e comunicar, dificuldades ou anomalias não esperadas no comportamento dos seus modelos.

Dada a abrangência da utilização de BIM, aplicações e tipologias de projeto envolvidas, as perspetivas de trabalhos futuros passam pela exploração de novas aplicações: no domínio da gestão de dados e orçamentação para a conceção virtual de modelos 4D e 5D de BIM, na utilização de novas aplicações para o desenvolvimento dos projetos de especialidades de hidráulica e térmica mais vocacionadas para a regulamentação nacional e no estudo das potencialidades das ferramentas integradas de análise térmica já existentes nas aplicações BIM de ArchiCAD e Revit.

6. Referencias Bibliográficas

1. Pártenon (Atenas), (n.d.), Infopédia, Porto Editora. Consultado em 20 Setembro de 2012.
2. Coliseu de Roma, (n.d.), Infopédia, Porto Editora. Consultado em 20 de Setembro de 2012
3. Smith, R.E., (2010). "Prefab Architecture: A Guide to Modular Design and Construction". John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. USA
4. Oliveira, M.R.S., (1998). "Construção de Edifícios Como Industria de Montagem" *Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil*, Universidade do Porto.
5. Cunha, S.I.T. (2009) "Industrialização da Construção: Um Contributo Para a Competividade do Sector", *Projeto Individual para a Licenciatura em Engenharia Civil*, Universidade Do Minho.
6. Sabol, L. (2007), "Technology Changend the Building Industry". *Artigo*, Consultado em 20 de Dezembro de 2011, Disponível em <http://www.dcstrategies.net/insights>
7. Canadian Precast/Prestressed Concrete Institute, CPCI (2007). "Total Precast Concrete Structures", *technical brochure*, CPCI. Canada
8. Khemlani, L., (2005). "Prefabrication of Timber Buildings based on Digital Models: A Perspective from Norway". *Artigo*. Consultado em 28 de Dezembro de 2011, de AECbytes: Analysis, Research, and Reviews of AEC Technology: http://www.aecbytes.com/feature/2005/Norway_prefab.html.
9. Couto, J.P., Couto, A.B.,(2007). "Vantagens Produtivas e Ambientais da Pré-fabricação".Relatorio Técnico, Universidade do Minho.
10. Lagartixo, P.M.R. (2011). "Sistemas Estruturais de Edifícios Industriais Pré-Fabricados em Betão". *Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Ramo de Construção*. Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade Nova de Lisboa.

11. Ferreira, E.M.B.M. (2001). “Passadiços Prefabricados de Betão – Conceção e Projeto”. *Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Estruturas, Geotecnia e Fundações*. Universidade do Minho
12. National Modular Housing Council, NMHC. (n.d.). Consultado em 20 de Agosto de 2012, Disponível em: [http:// www.modularcouncil.org/](http://www.modularcouncil.org/)
13. Almeida, M.I.A. (2009). “Comportamento Estrutural de Painéis Sandwich Compósitos para aplicações na indústria da Construção”. *Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil*, Instituto Superior Técnico.
14. Potluri, P., E & Reddy, T.Y. (2003), “Novel Stitch-bonded Sandwich Composite Structures”, *Elsevier – Composite Structures*, Vol 59.
15. Santos, T.M.B. (2010). ”Avaliação das Vantagens Económicas e Tecnológicas da Utilização do Conceito de Sistema Modular para Edifícios”. *Dissertação para a obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Especialização em Estruturas e Geotecnia*. Universidade do Minho.
16. Holmes, R.A.W.W., Kusolthamarat, D. & Tadros, M.K. (2003). “Nu Precast Concrete House Provides Spacious and Energy Efficient Solution for Residential Construction”, *Precast/Prestressed Concrete Journal*, USA
17. Precast/Prestressed Concrete Institute, CPI (2011). “State of the Art of Precast/Prestressed Concrete Sandwich Wall Panels, Second Edition”. *Precast/Prestressed Concrete Institute Journal*.
18. Mood: Casas Modulares, (2010). Catálogo Comercial, Consultado a 20 de Agosto de 2012, Disponível em: <http://www.casasmood.com/>
19. Modular House Solutions, (2010). *Catálogo Comercial*, de Conmarfel - Soluções Habitacionais. Consultado a 20 de Agosto de 2012, disponível em: <http://www.modu-lar.com/?m=pages&page=catalogos>
20. MIMAHousing, (2012). Consultado em 20 de Agosto de 2012, Disponível em: <http://www.mimahousing.pt/>.
21. MODULOTÉCNICO. Modulo Técnico. (n.d.); Available from: <http://modulotecnico.com/imagens/Modulos%20especiais/mesp/index.html>.

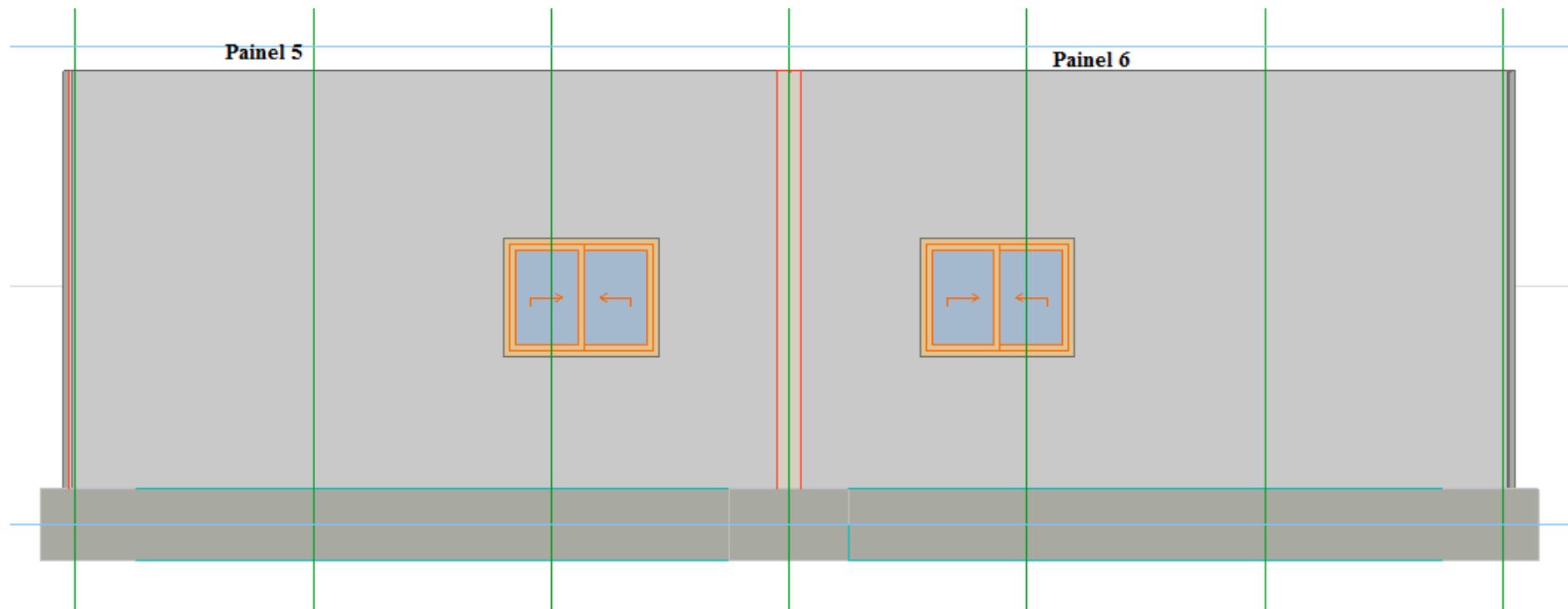
22. Solutions, M.H. (2012). Consultado em 20 de Setembro de 2012, Disponível em: <http://www.modu-lar.com/?m=pages&page=obra&id=18>.
23. Várkonyi, V. (2009). “Thou Shalt Collaborate: Interdisciplinary Collaboration Strategies in Age of BIM”, *Artigo*. Consultado em 28 de Dezembro de 2011, de AECbytes: Analysis, Research, and Reviews of AEC Technology: http://www.aecbytes.com/viewpoint/2009/issue_43.html
24. National Institute of BUILDING SCIENCES (2007). “National Building Information Modeling Standard Version 1 – Part 1: Overview, Principles and Methodologies”. *Final Report, December 2007*. USA
25. Hergunsel, M.F. (2011). “Benefits of Building Information Modeling For Construction Managers and BIM Based Scheduling” *Thesis in partial fulfillment of requirements for the Degree of Master of Science in Civil Engineering*, Worcester Polytechnic Institute
26. Martin, L.D., Perry, C.J., (2004) "PCI design handbook: precast and prestressed concrete". Precast/Prestressed Concrete Institute, PCI.
27. Smith, D. (2007). “An Introduction to Building Information Modeling” *Artigo*, *Journal of Building Information Modeling*, buildingSMARTAlliance.
28. Autodesk, (2011) "Autodesk_building_design_suite_brochure" *Catalogo Comercial*
29. BIMForum Portugal. (2011), "Building Information Modeling: Estado da Arte", *Apresentação*.
30. Eastman, C., Teicholz P., Sacks R., Liston K. (2011). “BIM Handbook: A Guide to Building Information Modeling for Owners, Managers, Designers, Engineers, and Contractors”. Segunda Edição. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, USA
31. Rammant, J.P. (2008). “Interoperability for BIM: A Structural Engineering Viewpoint”. *White Paper NEMETSCHEK Scia*.
32. Morais, R., Ferraz, M., (2012) “O conceito BIM e a especificação IFC na indústria da construção e em particular na indústria de pré-fabricação em betão”, *Encontro Nacional Betão Estrutural - BE2012*

33. BuildingSmart.org ., Consultado em 29 de Setembro de 2012, Disponível em: <http://www.buildingsmart-tech.org/specifications/ifc-releases>.
34. Precast Concrete BIM Standard Project. "Precast Concrete BIM Standard Documents", Volume II - IFC Binding Documents for Precast Concrete 2012.
35. U.S. General Services Administration (GSA), "GSA BIM Guide Series: Series 01 – 3D-4D-BIM Overview". Consultado em 15 de Novembro de 2011, Disponível em: <http://www.gsa.gov/portal/content/102276>
36. Retik, A. (1993). "Visualization for Marking in Construction Planning. Visualization and Intelligent Design in Engineering and Architecture".
37. Autodesk, (2012) "Autodesk Building Design Suite". *Catálogo Comercial*, Consultado em 20 de Dezembro de 2011
38. Graphisoft, (n.d) "ArchiCAD15 Highlights brochure" *Catálogo Comercial*, Consultado em 21 de Dezembro de 2011
39. Graphisoft (2009). "Finland's Biggest Ecological Business Park Designed with ArchiCAD by C&J Architects. Consultado em 10 de Outubro de 2012, Disponível em: http://www.graphisoft.com/community/press_zone
40. Graphisoft (2008). "New Zealand's First 5-Star Green Building with ArchiCAD" Consultado em 10 de Outubro de 2012]; Available from: http://www.graphisoft.com/community/press_zone
41. Graphisoft. (n.d.) Consultado em 20 de Dezembro de 2011, Disponível em: <http://www.graphisoft.com/products/gdl-object-technology/>.
42. 3DCADCO (n.d.) Consultado em 20 de Outubro de 2012, Disponível em: <http://www.3dcadco.com/objects/aboutgdlobjects/HTMLs/frames.html>
43. Autodesk. (2012) "Revit For MEP Engineering". Consultado em 21 de Outubro de 2012, Disponível em: <http://usa.autodesk.com/revit/mep-engineering-software/>.
44. Korhonen, M., Laine, T.,(2008) "Energy Analysis Software Evaluation BIM Interface and Interoperability". *Relatorio Tecnico*, Grandlung
45. Peltenburg, E., (n.d) "Parametric Modelling, a basic BIM property implemented in SCIA-ESA", *White Paper*
46. Graphisoft ,(2004). "GDL Reference Guide"

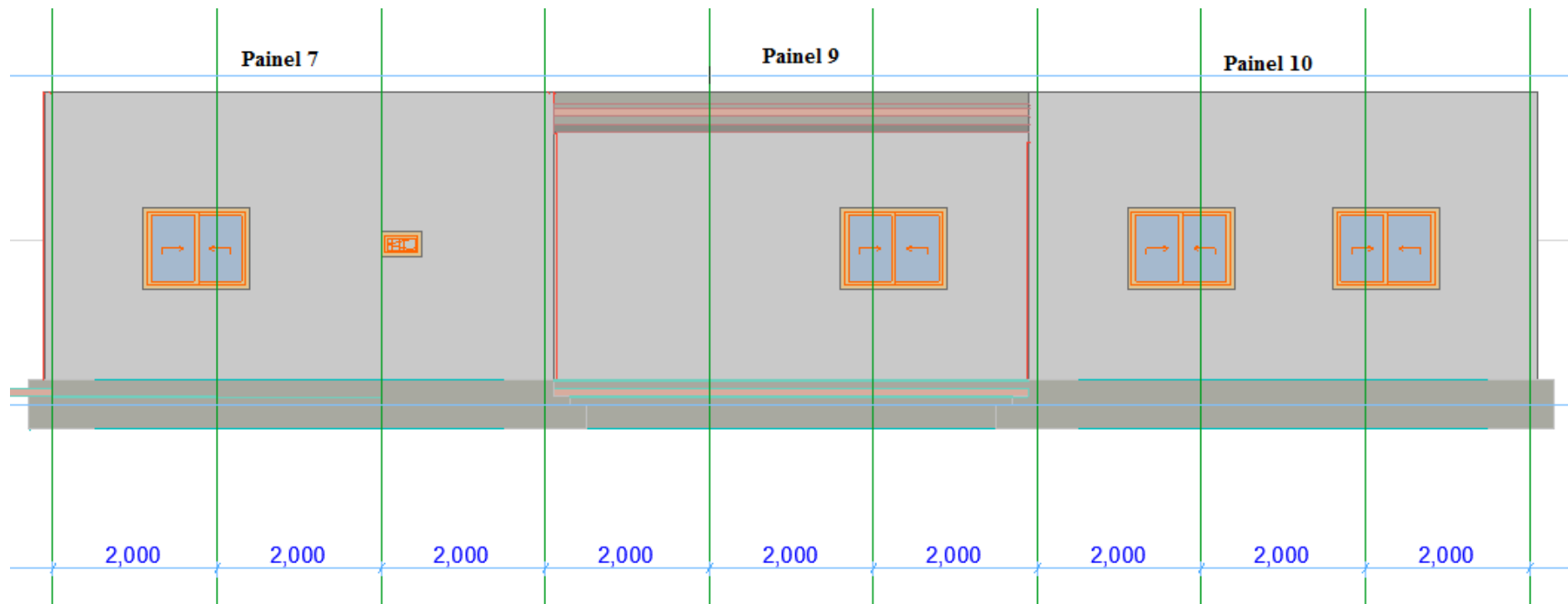
Anexos

Anexo I – Elementos de Arquitetura

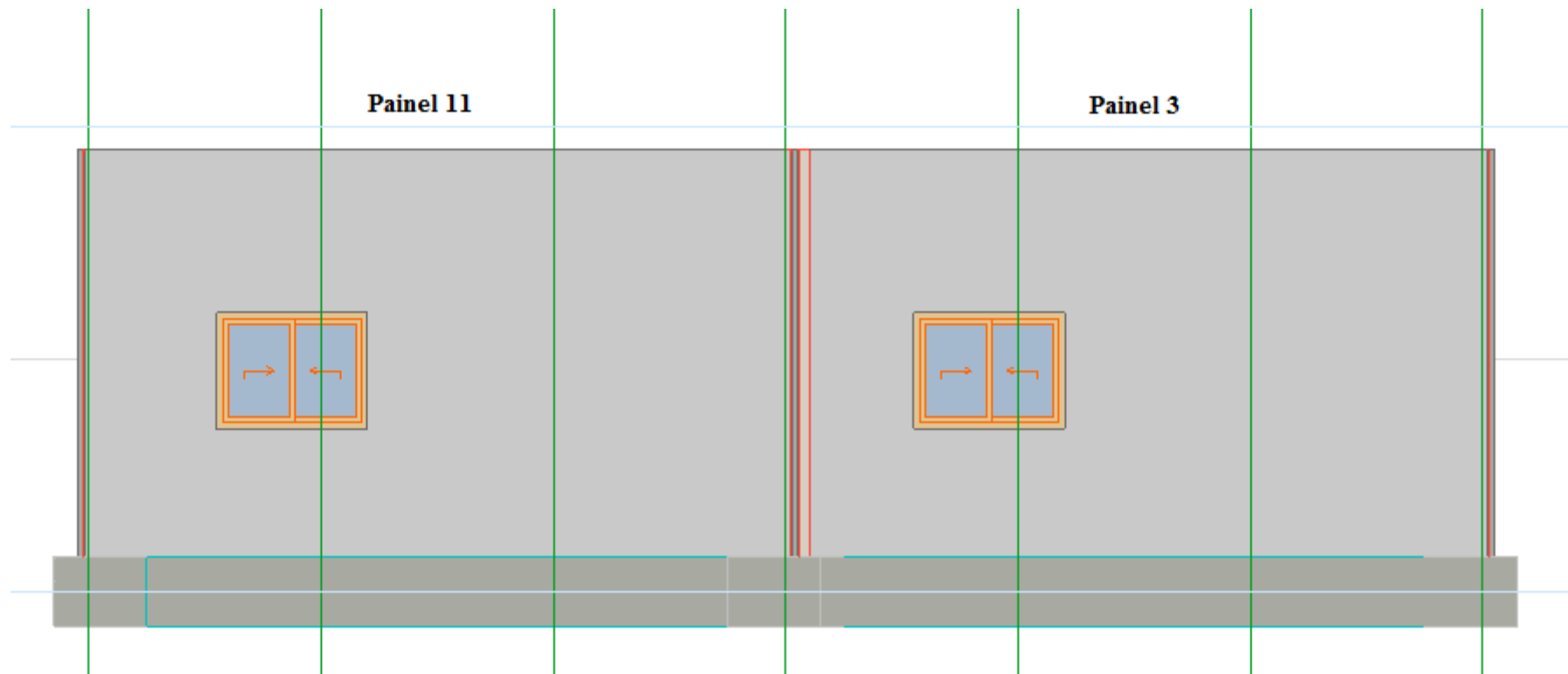
Alçado Este – Painéis sandwich Verticais



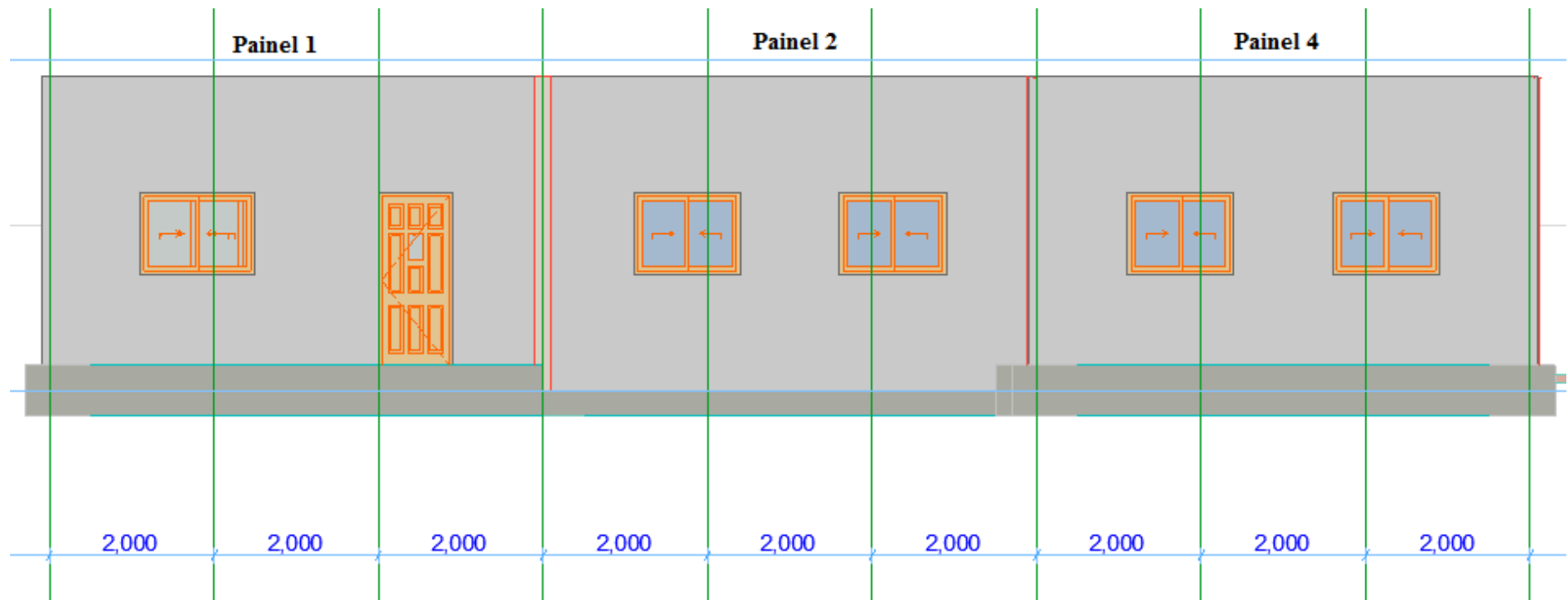
Alçado Norte – Painéis Sandwich Verticais



Alçado Oeste – Painéis Sandwich Verticais



Alçado Sul – Painéis Sandwich Verticais



ANEXO II – Codificação GDL e IFC

Anexo II – 1 Códigos dos Elementos do Painei GDL

Código para a representação 3D das Camadas do Painei

!=== PAINEL EXTERIOR===

```
PEN pen_cont
RESOL 12
MATERIAL mat_ext
CWALL_ mat_ext, mat_ext, mat_ext,
  h_pan, x1_ext, x2_ext, x3_ext, x4_ext, exp_pan,
  mask1, mask2, mask3, mask4,
  n,
  x_start1, z_low1, x_end1, z_high1, frame_sh1,
  x_start2, z_low2, x_end2, z_high2, frame_sh1,
  x_start3, z_low3, x_end3, z_high3, frame_sh1,
  x_start4, z_low4, x_end4, z_high4, frame_sh1,
  m
ADDY exp_pan
DEL TOP
ENDGROUP
```

DEL TOP

!=== PAINEL ISOLAMENTO===

```
ADDY exp_pan
PEN pen_cont
RESOL 12
MATERIAL isol
CWALL_ isol, isol, isol,
  h_pan, x1_med, x2_med, x3_med, x4_med, exp_pan,
  mask1, mask2, mask3, mask4,
  n,
  x_start1, z_low1, x_end1, z_high1, frame_sh1,
  x_start2, z_low2, x_end2, z_high2, frame_sh1,
  x_start3, z_low3, x_end3, z_high3, frame_sh1,
  x_start4, z_low4, x_end4, z_high4, frame_sh1,
  m
```

DEL TOP

!=== PAINEL INTERIOR===

```
ADDY 2*exp_pan
PEN pen_cont
RESOL 12
MATERIAL mat_int
CWALL_ mat_int, mat_int, mat_int,
  h_pan, x1_int, x2_int, x3_int, x4_int, exp_pan,
  mask1, mask2, mask3, mask4,
  n,
  x_start1, z_low1, x_end1, z_high1, frame_sh1,
  x_start2, z_low2, x_end2, z_high2, frame_sh1,
  x_start3, z_low3, x_end3, z_high3, frame_sh1,
  x_start4, z_low4, x_end4, z_high4, frame_sh1,
  m
```

DEL TOP

Código para a representação 3D do lintel de Fundação e Conectores

```
!=== PAINEL CONETOR===  
    MATERIAL mat_con  
    ADDX x_conetor  
    ADDY y_conetor  
    FOR I = 1 TO x2_ext/x_conetor  
        CPRISM_ mat_con, mat_con, mat_con,  
            4, h_pan,  
            0,0,15,  
            exp_pan/3,0,15,  
            exp_pan/3,2*exp_pan,15,  
            0, 2*exp_pan,15  
        ADDX x_conetor  
    NEXT I  
!=== CRIAÇÃO DOS LINTEIS===  
!=== BASE DO LINTEL===  
    GROUP "2a"  
    PEN pen_cont  
    MATERIAL mat_lint  
    ADDZ -p_lint  
        CPRISM_ mat_lint, mat_lint, mat_lint,  
            4, h_lint,  
            x1_ext,-x2_lint,15,  
            x2_ext,-x2_lint,15,  
            x2_ext,x3_lint,15,  
            x1_ext,x3_lint,15  
    ENDGROUP  
!=== ABERTURA DO LINTEL===  
    GROUP "3a"  
        PRISM 4,p_lint,  
            x1_ext, -x1_ab,  
            x2_ext,-x1_ab,  
            x2_ext,x2_ab,  
            x1_ext,x2_ab  
    ENDGROUP  
!=== ABERTURA DOS CONETORES===  
    GROUP "4a"  
        ADDX x_conetor  
        ADDY y_conetor  
        FOR I = 1 TO x2_ext/x_conetor  
            PRISM 4, h_pan,  
                0,0,  
                exp_pan/3,0,  
                exp_pan/3,exp_pan/2,  
                0,exp_pan/2  
        ADDX x_conetor  
    NEXT I  
    ENDGROUP  
DEL TOP
```


Anexo II – 2 Estrutura GDL do Painei

Dado o código para os elementos do painel no anexo anterior, aqui é apenas apresentada estrutura de organização, sendo o exemplo dado para a opção de colocação do painel sem aberturas

```

!=====
!=====ESCOLHA DAS ABERTURAS===
n0="0 aberturas"
n1="1 aberturas"
n2="2 aberturas"
n3="3 aberturas"
n4="4 aberturas"
VALUES "n_aberturas" n0, n1, n2, n3, n4
!=====PAGINA 2===
IF n_aberturas=n0 THEN
!=====PAINEL EXTERIOR=====
!=====PAINEL ISOLAMENTO=====
!=====PAINEL INTERIOR=====
!=====PAINEL CONETOR=====
!=====CRIAÇÃO DO LINTEL=====
!=====ABERTURA DO LINTEL=====
!=====ABERTURA DOS CONETORES=====
!=====
!=====OPERAÇÕES ENTRE GRUPOS=====
!=====
    result_1 = SUBGROUP ("2a","3a")
    result_2 = SUBGROUP ("1a","4a")
    result_3 = ADDGROUP (result_1,result_2)
    result_4 = SUBGROUP ("1b","2b")
    result_5 = SUBGROUP ("1c","2c")
!=====
!=====COLOCAÇÃO DE RESULTADOS=====
!=====
    PLACEGROUP result_3
    PLACEGROUP result_4
    PLACEGROUP result_5
    PLACEGROUP "1d"
ENDIF
!=====FIM DE PÁGINA=====

```

Janela de Introdução de Dados:

```
: !!! ===== Page 1 - DADOS GERAIS =====
!=====CAIXA DIMENSOES=====
UI_GROUPBOX "Dimensões Gerais", 0,50,324,215
    UI_OUTFIELD "coord x1",20,90,50,20
    UI_OUTFIELD "coord x2 ",20,120,50,20
    UI_OUTFIELD "coord x3",20,150,50,20
    UI_OUTFIELD "coord x4",20,180,50,20
!=====
    UI_INFIELD "x1_ext",90,90,50,20
    UI_INFIELD "x2_ext",90,120,50,20
    UI_INFIELD "x3_ext",90,150,50,20
    UI_INFIELD "x4_ext",90,180,50,20
!=====
    UI_INFIELD "x1_med",150,90,50,20
    UI_INFIELD "x2_med",150,120,50,20
    UI_INFIELD "x3_med",150,150,50,20
    UI_INFIELD "x4_med",150,180,50,20
!=====
    UI_INFIELD "x1_int",210,90,50,20
    UI_INFIELD "x2_int",210,120,50,20
    UI_INFIELD "x3_int",210,150,50,20
    UI_INFIELD "x4_int",210,180,50,20
!=====
!    UI_INFIELD "x_start4",270,90,50,20
!    UI_INFIELD "z_low4",270,120,50,20
!    UI_INFIELD "x_end4",270,150,50,20
!    UI_INFIELD "z_high4",270,180,50,20
!=====
UI_OUTFIELD "Altura Pannel", 20,210,50,40
UI_INFIELD "h_pan", 80,210,50,20
UI_OUTFIELD "Expossura lamina", 150,210,80,40
UI_INFIELD "exp_pan", 240,210,50,20

!=====CAIXA DOS MATERIAIS=====
UI_GROUPBOX "Tipo Material", 325,50,110,215
    UI_OUTFIELD "Lamina Exterior:", 335,70,95,20
    UI_INFIELD "mat_ext", 335,100,95,20
    UI_OUTFIELD "Isolamento:", 335,130,95,20
    UI_INFIELD "isol", 335,160,95,20
    UI_OUTFIELD "Lamina Interior:", 335,190,95,20
    UI_INFIELD "mat_int", 335,220,95,20

return
2 : !!! ===== Page 2 =====
!ui_outfield "This is Page 1", 20, 60, 150, yy
UI_OUTFIELD "Tipo de aberturas",20,60,120,20
UI_INFIELD "n_aberturas",150,60,100,20
IF n_aberturas = "1 aberturas" THEN
    gosub 3
```

```

ENDIF
IF n_aberturas = "2 aberturas" THEN
    gosub 4
ENDIF
IF n_aberturas = "3 aberturas" THEN
    gosub 5
ENDIF
IF n_aberturas = "4 aberturas" THEN
    gosub 6
ENDIF
return
3 : !!! ===== Page 3 =====
    UI_OUTFIELD "inicio x",20,90,50,20
    UI_OUTFIELD "inicio z ",20,120,50,20
    UI_OUTFIELD "fim x",20,150,50,20
    UI_OUTFIELD "fim z",20,180,50,20
!=====
    UI_INFIELD "x_start1",90,90,50,20
    UI_INFIELD "z_low1",90,120,50,20
    UI_INFIELD "x_end1",90,150,50,20
    UI_INFIELD "z_high1",90,180,50,20
return
4 : !!! ===== Page 4 =====
    UI_OUTFIELD "inicio x",20,90,50,20
    UI_OUTFIELD "inicio z ",20,120,50,20
    UI_OUTFIELD "fim x",20,150,50,20
    UI_OUTFIELD "fim z",20,180,50,20
!=====
    UI_INFIELD "x_start1",90,90,50,20
    UI_INFIELD "z_low1",90,120,50,20
    UI_INFIELD "x_end1",90,150,50,20
    UI_INFIELD "z_high1",90,180,50,20
!=====
    UI_INFIELD "x_start2",150,90,50,20
    UI_INFIELD "z_low2",150,120,50,20
    UI_INFIELD "x_end2",150,150,50,20
    UI_INFIELD "z_high2",150,180,50,20
return
5 : !!! ===== Page 5-3 aberturas =====
    UI_OUTFIELD "inicio x",20,90,50,20
    UI_OUTFIELD "inicio z ",20,120,50,20
    UI_OUTFIELD "fim x",20,150,50,20
    UI_OUTFIELD "fim z",20,180,50,20
!=====
    UI_INFIELD "x_start1",90,90,50,20
    UI_INFIELD "z_low1",90,120,50,20
    UI_INFIELD "x_end1",90,150,50,20
    UI_INFIELD "z_high1",90,180,50,20
!=====
    UI_INFIELD "x_start2",150,90,50,20

```

```

UI_INFIELD "z_low2",150,120,50,20
UI_INFIELD "x_end2",150,150,50,20
UI_INFIELD "z_high2",150,180,50,20
!=====
UI_INFIELD "x_start3",210,90,50,20
UI_INFIELD "z_low3",210,120,50,20
UI_INFIELD "x_end3",210,150,50,20
UI_INFIELD "z_high3",210,180,50,20
return
6 : !!! ===== Page 6 =====
UI_OUTFIELD "inicio x",20,90,50,20
UI_OUTFIELD "inicio z ",20,120,50,20
UI_OUTFIELD "fim x",20,150,50,20
UI_OUTFIELD "fim z",20,180,50,20
!=====
UI_INFIELD "x_start1",90,90,50,20
UI_INFIELD "z_low1",90,120,50,20
UI_INFIELD "x_end1",90,150,50,20
UI_INFIELD "z_high1",90,180,50,20
!=====
UI_INFIELD "x_start2",150,90,50,20
UI_INFIELD "z_low2",150,120,50,20
UI_INFIELD "x_end2",150,150,50,20
UI_INFIELD "z_high2",150,180,50,20
!=====
UI_INFIELD "x_start3",210,90,50,20
UI_INFIELD "z_low3",210,120,50,20
UI_INFIELD "x_end3",210,150,50,20
UI_INFIELD "z_high3",210,180,50,20
!=====
UI_INFIELD "x_start4",270,90,50,20
UI_INFIELD "z_low4",270,120,50,20
UI_INFIELD "x_end4",270,150,50,20
UI_INFIELD "z_high4",270,180,50,20
Return

```

Imagem da janela de dados finalizada

Definições das aberturas

☒ Page 1 ☐ Page 2

Dimensões Gerais

coord x1	0,00	0,00	0,00
coord x2	600,00	600,00	600,00
coord x3	600,00	600,00	600,00
coord x4	0,00	0,00	0,00
Altura Painel	350,00	Expessura lamina	6,00

Tipo Material

Lamina Exterior:

Isolamento:

Lamina Interior:

Definições das aberturas

☐ Page 1 ☒ Page 2

Tipo de aberturas 2 aberturas

inicio x	100,00	300,00
inicio z	30,00	150,00
fim x	190,00	400,00
fim z	250,00	250,00

Anexo II – 3 Estrutura IFC Parede Simples

```
ISO-10303-21;
HEADER;
FILE_DESCRIPTION(('ViewDefinition [CoordinationView]',
'Option [Entire project;Keep GUIDs;All Domain;All elements;All
struct.;scale:1.000000;Comp. wall:Extruded;Building element parts;Chained
beam:Extruded;Comp. slab:Extruded]'),
'2;1');
FILE_NAME(
'C:\\Users\\Pedro Daniel\\Downloads\\PROGRAMAS_TESE E
OUTROS\\ARCHICAD\\PROJETOS\\Projetos componentes painel\\Parede normal.ifc'
'2012-03-27T15:56:21',('Architect'),('Building Designer Office'),'PreProc - EDM
5.0',
'IFC file generated by Graphisoft ArchiCAD-64 15.0.0 POR FULL Windows version
(IFC2x3 add-on version: 3602 POR FULL).',
'The authorising person');
FILE_SCHEMA(('IFC2X3'));
ENDSEC;

DATA;
#1= IFCPERSON('','N\\S\\co definido','',,$,$,$,$);
#3= IFCORGANIZATION('','N\\S\\co definido','',,$,$);
#7= IFCPERSONANDORGANIZATION(#1,#3,$);
#8= IFCORGANIZATION('GS','Graphisoft','Graphisoft',,$,$);
#12= IFCAPPLICATION(#8,'15.0.0','ArchiCAD-64','IFC2x3 add-on version: 3602 POR
FULL');
#13= IFCOWNERHISTORY(#7,#12,$,.ADDED.,,$,$,1332860181);
#14= IFCSIUNIT(*,.LENGTHUNIT.,.MILLI.,.METRE.);
#15= IFCSIUNIT(*,.AREAUNIT.,$.SQUARE_METRE.);
#16= IFCSIUNIT(*,.VOLUMEUNIT.,$.CUBIC_METRE.);
#17= IFCSIUNIT(*,.PLANEANGLEUNIT.,$.RADIAN.);
#18= IFCMEASUREWITHUNIT(IFCPLANEANGLEMEASURE(0.017453293),#17);
#19= IFCDIMENSIONALEXPONENTS(0,0,0,0,0,0,0);
#20= IFCCONVERSIONBASEDUNIT(#19,.PLANEANGLEUNIT.,'DEGREE',#18);
#21= IFCSIUNIT(*,.SOLIDANGLEUNIT.,$.STERADIAN.);
#22= IFCSIUNIT(*,.MASSUNIT.,$.GRAM.);
#23= IFCSIUNIT(*,.TIMEUNIT.,$.SECOND.);
#24= IFCSIUNIT(*,.THERMODYNAMICTEMPERATUREUNIT.,$.DEGREE_CELSIUS.);
#25= IFCSIUNIT(*,.LUMINOUSINTENSITYUNIT.,$.LUMEN.);
#26= IFCUNITASSIGNMENT((#14,#15,#16,#20,#21,#22,#23,#24,#25));
#28= IFCDIRECTION((1.,0.,0.));
#32= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#36= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#40= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#36,#32,#28);
#43= IFCDIRECTION((0.,1.));
#47= IFCGEOMETRICREPRESENTATIONCONTEXT($,'Model',3,1.0000000E-5,#40,#43);
#50= IFCPROJECT('34407vICcwH8qAenwJDjSU',#13,'Projecto',,$,$,$,$,(#47),#26);
#57= IFCPOSTALADDRESS($,'','','',''),('',' ',' ',' ',' ',' ');
#61= IFCDIRECTION((1.,0.,0.));
#65= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#69= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#73= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#69,#65,#61);
#76= IFCLOCALPLACEMENT($,#73);
#79=
IFCSITE('20FpTZCqJy2vhVJYtjuIce',#13,'Local',,$,$,#76,$,$,.ELEMENT.,(38,44,0),(-9
,-8,0),,$,$,#57);
#91= IFCRELAGGREGATES('1tx_qHl1T2ruzUbqbFvawS',#13,$,$,#50,(#79));
#93= IFCPOSTALADDRESS($,'','','',''),('',' ',' ',' ',' ',' ');
#97= IFCDIRECTION((1.,0.,0.));
#101= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#105= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#109= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#105,#101,#97);
#112= IFCLOCALPLACEMENT(#76,#109);
#115= IFCBUILDING('00tMo7QcxqWdIGvc4sMN2A',#13,'Parede
normal',,$,$,#112,$,$,.ELEMENT.,,$,$,#93);
#125= IFCRELAGGREGATES('00Iz$VShHEKuine$lgOFZV',#13,$,$,#79,(#115));
#127= IFCDIRECTION((1.,0.,0.));
#131= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
```

```
#135= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#139= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#135,#131,#127);
#142= IFCLOCALPLACEMENT(#112,#139);
#145=
IFCBUILDINGSTOREY('1Ame7UFQL7KQcxSPFWpS6',#13,'R\S\is-do-Ch\S\co',,$,$,#142,$,$,
.ELEMENT.,0.);
#155= IFCRELAGGREGATES('3vZ0fsi_56YonBgIrw$yyI',#13,$,$,#115,($145,#343));
#157= IFCDIRECTION((-1.,0.,0.));
#161= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#165= IFCCARTESIANPOINT((7000.,4000.,0.));
#169= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#165,#161,#157);
#172= IFCLOCALPLACEMENT(#142,#169);
#175= IFCCARTESIANPOINT((0.,-102.));
#179= IFCCARTESIANPOINT((6000.,-102.));
#183= IFCCARTESIANPOINT((6000.,102.));
#187= IFCCARTESIANPOINT((0.,102.));
#191= IFCPOLYLINE((#175,#179,#183,#187,#175));
#195= IFCARBITRARYCLOSEDPROFILEDEF(.AREA.,'',#191);
#196= IFCDIRECTION((1.,0.,0.));
#200= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#204= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.,0.));
#208= IFCAXIS2PLACEMENT3D(#204,#200,#196);
#211= IFCDIRECTION((0.,0.,1.));
#215= IFCEXTRUDEDAREASOLID(#195,#208,#211,2700.);
#218= IFCOLOURRGB($,0.68627451,0.35294118,0.29411765);
#219=
IFCSURFACESTYLERENDERING(#218,0.,IFCNORMALISEDRAIOMEASURE(0.62),$,$,$,IFCNORMAL
ISEDRAIOMEASURE(0.19),$,.NOTDEFINED.);
#220= IFCSURFACESTYLE('Tijolo-al\S\g. comum',.BOTH.,(#219));
#222= IFCPRESENTATIONSTYLEASSIGNMENT((#220));
#224= IFCSYLEDITEM(#215,($222),$);
#228= IFCSHAPE REPRESENTATION(#47,'Body','SweptSolid',(#215));
#234= IFCPRESENTATIONLAYERASSIGNMENT('Arq | Paredes
exteriores.3D',,$,($228,#248),$);
#236= IFCCARTESIANPOINT((0.,0.));
#240= IFCCARTESIANPOINT((6000.,0.));
#244= IFCPOLYLINE((#236,#240));
#248= IFCSHAPE REPRESENTATION(#47,'Axis','Curve2D',(#244));
#254= IFCPRODUCTDEFINITIONSHAPE($,$,($228,#248));
#258= IFCWALLSTANDARD CASE('0wQQXU$NDFQ94Ju6pVJTWA',#13,'Pe -
53',,$,#172,#254,'2069A85E-FD73-4F68-9113-E06CDF4DD80A');
#277=
IFCRELCONTAINEDINSPATIALSTRUCTURE('1m5VCT$r5aumIcZV2jP3u',#13,$,$,($258),#145);
#279= IFCMATERIAL('Gesso');
#282= IFCMATERIALLAYER(#279,12.,.U.);
#284= IFCMATERIAL('Bet\S\co Estrutural');
#287= IFCMATERIALLAYER(#284,60.,.U.);
#289= IFCMATERIAL('Isolamento');
#292= IFCMATERIALLAYER(#289,60.,.U.);
#294= IFCMATERIALLAYER(#284,60.,.U.);
#296= IFCMATERIAL('Reboco Areado');
#299= IFCMATERIALLAYER(#296,12.,.U.);
#301= IFCMATERIALLAYERSET((#282,#287,#292,#294,#299),'PAINEL2');
#303= IFCMATERIALLAYERSETUSAGE(#301,.AXIS2.,.NEGATIVE.,102.);
#304= IFCRELASSOCIATESMATERIAL('3otlxq_0j3Cg4A1FCoXXd7',#13,$,$,($258),#303);
#306= IFCPROPERTY SINGLEVALUE('Renovation Status',,$,IFCLABEL('Existing'),$);
#310=
IFCPROPERTYSET('2DFte$B0NPbEa36vaw9HAJ',#13,'AC_Pset_RenovationAndPhasing',,$,($
06));
#315= IFCRELDEFINESBYPROPERTIES('1oJiGIQ23b8anHDQuadVp6',#13,$,$,($258),#310);
#317= IFCWALLTYPE('3GqhjqWbx5P7dBdec7QLY',#13,'PAINEL2
204',,$,$,$,$,$,.NOTDEFINED.);
#323= IFCRELDEFINESBYTYPE('1Z$g0Jagb7U0cTJ$WJXWav',#13,$,$,($258),#317);

ENDSEC;

END-ISO-10303-21;
```

Anexo III

Dimensionamento Das redes de Abastecimento e Recolha de Águas Residuais

No dimensionamento dos sistemas de distribuição e drenagem de águas, serão considerados os procedimentos definidos pelo regulamento dos Sistemas Prediais de Distribuição e Drenagem de Águas, com a particular atenção ao uso dos coeficientes de simultaneidade.

A utilização dos coeficientes de simultaneidade advém do fato de que numa construção residencial, tem de ser acautelada a possibilidade de que estatisticamente não será credível que num determinado momento todos os dispositivos hidráulicos se encontram em simultâneo funcionamento, pela obtenção do caudal de cálculo de dimensionamento seja a partir da afetação do coeficiente de simultaneidade ao somatório do caudal instantâneos de cada equipamento até à secção pretendida para o dimensionamento.

Assim, em primeiro lugar o coeficiente de simultaneidade, pode ser obtido usando um dos seguintes métodos: método do coeficiente de simultaneidade – X ou o método preconizado pelo regulamento Português

Método do Coeficiente de Simultaneidade – X

A quantificação do coeficiente é determinada pela equação (1), que considera o numero de dispositivos de utilização, colocados a jusante da secção a dimensionar, sendo que o limite mínimo para a aplicação da equação são de três dispositivos, ou seja, se para a secção em dimensionamento, o numero de dispositivos são abastecidos for em numero inferior ou igual a três, o caudal de calculo a considerar corresponderá à soma aritmética dos caudais instantâneos.

$$x = \sqrt{\frac{1}{\sqrt{N} - 1}} \quad (1)$$

Assim, para as secções cujo número de dispositivos seja superior, o caudal de cálculo, a considerar obtido através da equação (2), onde Q_a corresponde ao somatório dos caudais instantâneos.

$$Q_c = X \times Q_a \quad (2)$$

Método preconizado pelo Regulamento Português

A documentação regulamentar, dispõe no anexo V, uma curva gráfica, que relaciona os coeficientes de simultaneidade com os caudais acumulados, fornece os caudais de cálculo, para o nível de conforto medio dos dispositivos de utilização, podendo ser usado nos casos correntes de dimensionamento, em habitações sem fluxómetros. De acordo o anexo V, as equações definidas de (3) a (5) correspondem aos seguintes limites de caudais acumulados (em l/s):

$$\begin{aligned} Q_A &< 3.5 \\ Q_C &= 0.5469 \times Q_A^{0.5137} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} 3.5 &> Q_A \geq 25 \\ Q_C &= 0.5226 \times Q_A^{0.5364} \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} 25 &> Q_A \geq 500 \\ Q_C &= 0.2525 \times Q_A^{0.7587} \end{aligned} \quad (5)$$

Como o projeto de abastecimento e drenagem de águas, não comporta nos seus acessórios, fluxómetros e que pode ser integrado num caso corrente de dimensionamento, para este projeto foi adotado o método de preconizado pelo regulamento, para a quantificação do coeficiente de simultaneidade. Antes de se proceder ao dimensionamento, tem de ser

definidos dados iniciais referentes às condições de implantação, bem como os limites impostos para velocidade e pressão a cumprir.

Tabela 1 - Dados para dimensionamento

Dados para a Rede Publica			Dados Para Dimensionamento			
Cotagem (m)	Abastecimento de Água (m)	1	Valores	Mínimos	Maximos	Recomendados
	Coletor de Águas Residuais (m)	1,8				
			Velocidade (m/s)	0,5	2	1
	Pressão Rede (kPa)	450	Pressão (kPa)	50	600	150 - 300

As condições de pressão junto dos diversos dispositivos, respeita a equação (6)

$$P_x = P_D - Z_n - AH_T \quad (6)$$

Onde:

P_x – Corresponde à pressão disponível no ponto considerado (em m.c.a);

P_D – Corresponde à pressão disponível na rede publica de distribuição, à entrada;

Z_n – diferença de cotas entre o ponto x e a rede pública de distribuição;

AH_T – Perdas de Carga Totais.

O dimensionamento da tubagem e contabilização das perdas de carga é realizado com as equações da Continuidade (8) e de Flamant (9), sendo que as perdas carga de localizadas pode ser obtida com uma ponderação de 120% do comprimento multiplicado pelo comprimento da tubagem. Na pagina seguinte são apresentados os resultados:

$$\phi = \sqrt{\frac{1.274 \times Q_c}{V}} \quad (8)$$

$$J = 4 \times b \times V^{7/4} \times \phi^{-5/4} \quad (9)$$

Rede De Agua Fria:

		Equação da Continuidade				Equação da Continuidade		Equação de Flamant	P.Carga Total entre pontos		Condições de pressão (mca)	
Trechos	N	Qa (l/s)	Qc (l/s)	Dpd (mm)	D (mm)	V (m/s)	J (m)	L (m)	1,2*J*L (m)	Desnível (m)	Montante	Jusante
Ramal de Alimentação (habitação)												
Contador_p1	18	9,98	1,809	43,823	50	0,922	0,0223	16,67	0,446	1,100	30,000	28,454
p1_deposito	8	8,68	1,678	42,213	50	0,855	0,0196	1,50	0,035	1,268	28,454	27,151
p1_p3	8	1,3	0,626	25,776	28	1,017	0,0547	2,79	0,183	2,839	28,454	25,431
p3_p4	4	0,45	0,363	19,628	22	0,955	0,0662	0,41	0,032	0,000	25,431	25,399
p4_Bidé	1	0,1	0,168	13,338	15	0,949	0,1057	3,82	0,485	1,930	25,399	22,984
p4_p5	3	0,35	0,319	18,401	18	1,254	0,1370	0,56	0,092	0,000	25,399	25,307
p5_Chuveiro	1	0,15	0,206	14,802	15	1,169	0,1521	1,23	0,224	1,322	25,307	23,760
p5_p6	2	0,2	0,239	15,937	15	1,355	0,1970	0,88	0,208	0,000	25,307	25,099
p6_Reservatorio Sanita	1	0,1	0,168	13,338	15	0,949	0,1057	1,71	0,216	1,766	25,099	23,116
p6_Lavatório	1	0,1	0,168	13,338	15	0,949	0,1057	3,88	0,492	1,881	25,099	22,725
p3_p7	4	0,85	0,503	23,111	22	1,324	0,1173	0,65	0,092	0,000	25,431	25,340
p7_p8	2	0,35	0,319	18,401	18	1,254	0,1370	2,24	0,368	0,000	25,340	24,971
p8_Máquina Louça	1	0,15	0,206	14,802	15	1,169	0,1521	2,38	0,434	1,932	24,971	22,605
p8_Maquina Roupa	1	0,2	0,239	15,937	15	1,355	0,1970	2,39	0,565	1,642	24,971	22,765
p7_p9	2	0,5	0,383	20,166	22	1,008	0,0728	0,55	0,048	0,000	25,340	25,292
p9_Pia Lava louça	1	0,2	0,239	15,937	18	0,941	0,0829	2,22	0,221	1,503	25,292	23,568
p9_Torneira Exterior	1	0,3	0,295	17,687	18	1,159	0,1193	5,95	0,852	1,500	25,292	22,939
Σ								31,6587				
Material	Aço Inox											
Coef. Rugosidade	1,52E-04											

Pág. xxi

No que respeita à conceção das redes de drenagem de águas Residuais serão dimensionados os ramais de descarga individuais dos equipamentos, os ramais de descarga não individuais e o coletor principal

Os ramais de descarga não individuais não devem ser dimensionados para escoamentos superiores a meia secção, o seu diâmetro interior deve ser calculado através da Fórmula de Manning – Strickler (10), sendo que para escoamento a secção cheia ou a meia secção, o raio hidráulico pode ser obtido através da divisão do diâmetro interior da tubagem por quatro, assim o diâmetro do coletor é calculado para escoamento a meia seção por (11) e a seção cheia em (12), sendo os resultados apresentados nos quadros seguintes.

$$Q = K \times A \times R^{2/3} \times i^{1/2} \quad (10)$$

$$\emptyset = \frac{Q^{3/8}}{0.4980 \times k^{3/8} \times i^{3/16}} \quad (11)$$

$$\emptyset = \frac{Q^{3/8}}{0.6459 \times k^{3/8} \times i^{3/16}} \quad (12)$$

Ramais individuais:

DIMENSIONAMENTO DOS RAMAIS DE DESCARGA INDIVIDUAIS						
Dispositivos	Caudais de descarga [l/min]	Diâmetro mínimo [mm]	Pré-dimensionamento [mm]	Verificação do diâmetro mínimo	Diametro Comercial [mm]	Verificação
			Manning-Strickler			
Br	90	90	59	Usar minimo	90	OK!
Ba	60	40	51	Modificar diâmetro	63	OK!
Bd	30	40	39	Usar minimo	50	OK!
Lv	30	40	39	Usar minimo	50	OK!
MI (1/2 secção)	60	50	51	Modificar diâmetro	63	OK!
Mr (1/2 secção)	60	50	66	Modificar diâmetro	75	OK!
LI	30	50	39	Usar minimo	50	OK!
Ch	30	50	39	Usar minimo	50	OK!

Ramais Não-individuais e coletor

DIMENSIONAMENTO DO RAMAL DE DESCARGA NÃO-INDIVIDUAL									
habitação									
Colectores	Qacumulado [l/min]	Nº de Dispositivos	Qcal [l/min]	Inclinação [1-4] [%]	Pré-dimensionamento [mm]	Diametro Comercial [mm]	Verificação		
WC	90	3	63,64	1	68	75	OK!		
Cozinha	150	3	106,07	1	82	90	OK!		
DIMENSIONAMENTO DOS COLECTORES PREDIAIS									
Colectores	Qacumulado [l/min]	N (nr. Dispositivos)	Qcálculo [l/min]	Inclinação [1-4] [%]	Pré-dimensionamento [mm]	Diametro Comercial [mm]	Diametro Interno [mm]	Verificação Diametro Minimo	Usar Minimo
col_1	90	1	90,00	1	77	90	86,4	OK!	110
Col_2	180	4	103,92	1	81	90	86,4	OK!	110
Col_3	330	7	134.7219359	1	89	110	105.6	OK!	110